

全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材

现代设备管理

姜金三　编著

紧密结合设备管理条例，融入现代设备管理思想

涵盖TPM推进、6S管理等常用维修模式及策略技术

全面介绍了现代设备管理新观念、新思路和新方法





全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材

现代设备管理

姜金三　编著



内容简介

本书结合设备管理的条例，融入了现代设备管理思想，内容包括计划性维修、设备综合工程学、全员生产维护、以可靠性为中心的维修、状态维修与综合设备管理和企业设备资产管理信息系统。

本书全面系统地介绍了设备管理的新观念、新思路和新方法，内容包括设备管理寿命周期的概念、设备的经济规划与投资预测、技术方案的规划和评价、设备的功能评价与分析、设备可行性报告的编制、设备的前期管理和日常管理、设备的安装和验收、设备的使用与维护、设备故障和诊断、设备的可靠性管理、设备维修新技术及新方法、设备折旧、设备管理信息系统等。书中介绍了 TPM 推进、6S 管理等在实际中广泛应用的设备维修模式和维修策略技术，并涵盖了当前设备管理最前沿的知识。

本书可作为高等院校工科与管理专业方向学生的必修课教材，或者作为机械类、近机类及其他专业学生的选修课教材，也可作为设备管理工程人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代设备管理/姜金三编著. —北京：北京大学出版社，2012.2
(全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材)
ISBN 978-7-301-20016-2

Ⅰ. ①现… Ⅱ. ①姜… Ⅲ. ①企业管理：设备管理—高等学校—教材 Ⅳ. ①F273.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 281184 号

书　　名：**现代设备管理**
著作责任者：姜金三　编著
责 任 编 辑：童君鑫
标 准 书 号：ISBN 978-7-301-20016-2/TH・0282
出　版　者：北京大学出版社
地　　址：北京市海淀区成府路 205 号　100871
网　　址：http://www.pup.cn　http://www.pup6.cn
电　　话：邮购部 62752015　发行部 62750672　编辑部 62750667　出版部 62754962
电 子 邮 箱：pup_6@163.com
印　刷　者：
发　行　者：北京大学出版社
经　销　者：新华书店
787 毫米×1092 毫米　16 开本　14 印张　323 千字
2012 年 2 月第 1 版　　2020 年 1 月第 3 次印刷
定　　价：42.00 元

前　言

现代设备向大型化、超小型化、高速化、精密化、智能化、自动化方向发展，现代设备管理也向管理信息网络化、维修专业化、全球化、维修技术高科技化、设备管理智能化方向发展。先进的设备使得企业的生产操作工数量在不断减少，而维护、维修任务和维护、维修人员的比重在不断增加；生产过程的操作复杂度逐渐下降，维护、维修的技术含量不断上升，企业的资产密集度不断增加。

现代化设备需要有与之相适应的工艺参数，要有高技术的操作人员，更要有与之相适应的现代管理模式和高素质的管理人才。先进的设备是提升企业规模和现代化水平，促进生产力不断发展的必由之路，更是对建设现代企业的必然要求。现代设备管理就是应用科学的方法论解决管理工作中人的问题，建立全新的管理理念，建立并实施规范的管理模式。现代设备管理必须善于任用和培养高素质的管理人才，大力营造人才成长的良好氛围。

强大的国家需要强大的工业支撑，素有“工业母机”之称的装备制造业在日前发布的《国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》中被委以重任。《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》的发布，使高端装备制造业概念成为领衔“十二五”规划的关键字眼。

中国改革开放以来，装备制造技术得到大力发展，通过引进消化吸收推动了设备技术的高度综合和设备自动化程度的不断提高，设备管理的学者不断地去探索新的设备管理体制和新的设备管理方法。设备管理已发展成为一门独立的综合性学科，从而将设备管理信息系统、设备寿命周期全过程的管理作为现代设备管理的主要内容。设备管理涉及多门学科，内容非常丰富。本书结合设备管理的条例，融入了现代设备管理思想，内容包括计划性维修、设备综合工程学、全员生产维护、以可靠性为中心的维修、状态维修与综合设备管理和企业设备资产管理信息系统。

本书全面系统地介绍了设备管理的新观念、新思路和新方法，内容包括设备管理寿命周期的概念、设备的经济规划与投资预测、技术方案的规划和评价、设备的功能评价与分析、设备可行性报告的编制、设备的前期管理和日常管理、设备的安装和验收、设备的使用与维护、设备故障和诊断、设备的可靠性管理、设备维修新技术及新方法、设备折旧、设备管理信息系统、特种设备管理等。书中介绍了 TPM 推进、6S 管理等在实际中广泛应用的设备维修模式和维修策略技术，并涵盖了当前设备管理最前沿的知识。

本书可作为高等院校工科与管理专业方向学生的必修课教材，或者作为机械类、近机类等其他专业学生的选修课教材，同时也可作为拓宽一般学生专业知识面的参考教材，可用于 35～40 学时的教学安排，也可作为设备管理工程人员的参考书。

本书在编写的过程中参阅了国内和国外的有关资料，在此特向有关作者表示谢意。

另外，由于新的设备管理思想和方法还在继续发展，而编者水平有限，疏漏和不足之处在所难免，恳请读者提出批评和改进意见。

编　者
2011.12

目　　录

第 1 章　现代设备管理总论 ……………… 1

1.1　现代设备的特征 …………………… 2

1.1.1　设备 …………………… 2

1.1.2　设备的分类 …………………… 3

1.1.3　设备的特征 …………………… 3

1.1.4　我国设备现状及装备制造业 …………………… 7

1.1.5　我国装备制造业的指导原则与目标取向 ………… 13

1.2　现代设备管理简介 ……………… 15

1.2.1　现代设备管理的概念及其特点 …………………… 15

1.2.2　现代设备管理在现代企业中的地位 ……………… 18

1.3　设备管理的发展 ……………… 20

1.3.1　设备管理与维修模式的发展 …………………… 20

1.3.2　我国设备管理的发展 …… 23

1.3.3　我国现行的设备管理制度 …………………… 24

1.3.4　设备管理的基础工作 …… 24

1.4　现代设备管理的内容 …………… 25

1.5　现代设备管理的发展 …………… 27

1.5.1　现代设备现代化的特征 … 27

1.5.2　现代设备管理发展的新趋势 …………………… 27

思考题 ………………………………… 30

第 2 章　现代设备的经济规划与投资预测 ………………………………… 31

2.1　现代设备的经济规划 …………… 32

2.1.1　设备规划的内容 ………… 32

2.1.2　设备投资评价的依据 …… 33

2.1.3　设备投资规划应预估的内容 …………………… 36

2.1.4　设备规划的制订 ………… 36

2.1.5　设备的运行管理 ………… 36

2.1.6　设备投资的经济评价方法 …………………… 38

2.2　设备合理使用期的估算 ………… 41

2.2.1　设备最佳使用年限的估算 …………………… 41

2.2.2　目标利润和设备的合理使用期 …………………… 43

2.3　设备投资预测 …………………… 44

2.4　设备规划的可行性研究 ………… 46

2.4.1　可行性研究的阶段 ……… 47

2.4.2　可行性研究报告书 ……… 47

2.4.3　设备规划方案评价的指标体系 …………………… 48

2.5　重大设备投资项目的呈报和审批 ………………………………… 50

2.5.1　设备投资项目呈报的主要内容 …………………… 51

2.5.2　设备投资预算外追加的限度和审批 ……………… 51

2.5.3　境外投资项目可行性研究报告及案例 ………… 52

思考题 ………………………………… 55

第 3 章　技术方案的规划和评价 ……… 56

3.1　设备的功能分析 ………………… 57

3.1.1　设备功能的分类 ………… 57

3.1.2　生产产品与设备基本功能的关系 …………………… 58

3.1.3　功能余裕和功能冗余 …… 58

3.2　投资方案的经济评价 …………… 60

3.2.1　资金的时间价值 ………… 60

3.2.2　现金流量 ………………… 63

3.2.3　设备技术经济指标的意义与原则 …………………… 63

3.2.4　设备投资效益的评价 …… 64
3.3　设备的结构系统分析 …… 69
3.3.1　从功能概念系统到结构实体系统的可能性 …… 69
3.3.2　设备结构系统与机械设备的技术设计 …… 69
3.3.3　最佳结构系统的评价标准 …… 70
3.4　设备的选型和购置 …… 71
3.4.1　设备选型的基本原则 …… 72
3.4.2　设备选型时考虑的主要因素 …… 72
3.4.3　设备选型的基本步骤 …… 73
思考题 …… 74

第 4 章　设备的安装与验收 …… 75

4.1　设备的布局和安装 …… 77
4.1.1　设备的布局 …… 77
4.1.2　安装工期的时间结构 …… 78
4.1.3　设备的安装要求 …… 79
4.1.4　设备安装工程的管理 …… 80
4.2　设备的调试和试运转 …… 81
4.2.1　调试的准备工作 …… 81
4.2.2　设备的试运转 …… 82
4.3　设备的验收与交接 …… 84
4.4　设备使用初期管理 …… 85
4.5　重大设备及进口设备的管理 …… 86
4.5.1　国外引进设备的注意事项 …… 86
4.5.2　进口设备管理的内容 …… 88
思考题 …… 89

第 5 章　设备的使用和维护 …… 90

5.1　设备的运行管理 …… 91
5.1.1　设备的运行管理制度 …… 91
5.1.2　设备运行管理的岗位责任制 …… 92
5.1.3　岗位技术规程 …… 93
5.2　设备的功能分析与检查 …… 94
5.3　设备的合理使用和维护 …… 95
5.3.1　设备的合理使用 …… 95
5.3.2　设备的维护 …… 97
5.3.3　现代设备管理的“6S”管理及 TPM 推进 …… 99
5.4　设备的磨损及润滑管理 …… 106
5.4.1　摩擦与磨损 …… 106
5.4.2　润滑管理 …… 107
5.5　设备维护的技术经济指标 …… 110
5.6　设备维修策略与计划 …… 111
5.6.1　设备的维修模式 …… 111
5.6.2　设备维修策略选择 …… 112
5.6.3　设备维修计划的制订 …… 113
思考题 …… 115

第 6 章　设备故障及诊断技术 …… 116

6.1　设备故障的概念及分布规律 …… 117
6.1.1　故障的定义 …… 117
6.1.2　设备可靠度与故障率 …… 118
6.1.3　故障的分类 …… 119
6.2　设备故障的典型模式和成因 …… 120
6.2.1　机械设备中常见的故障模式 …… 120
6.2.2　故障产生的原因和模式 …… 121
6.3　设备故障的分析与改进 …… 122
6.3.1　故障信息数据的收集与统计 …… 123
6.3.2　故障的频数分析 …… 124
6.3.3　设备故障原因分析 …… 124
6.3.4　故障的分析方法 …… 125
6.4　设备的诊断技术与状态监测 …… 128
6.4.1　设备故障的诊断技术 …… 128
6.4.2　设备状态监测 …… 131
6.4.3　监测和诊断的主要方法 …… 132
6.4.4　设备的故障诊断与检测案例 …… 137
思考题 …… 139

第 7 章　设备的可靠性管理 …… 141

7.1　设备可靠度的概念及故障分布规律 …… 143

7.1.1 可靠度的基本概念 …… 143
7.1.2 设备的可靠性分析 …… 144
7.1.3 故障的分布规律 …… 144
7.2 设备和系统的可靠度计算 …… 146
7.2.1 设备的可靠度计算 …… 146
7.2.2 系统的可靠度计算 …… 147
7.3 设备的可靠性设计 …… 149
7.3.1 可靠性设计的内容、原则和基本程序 …… 149
7.3.2 可靠性预测 …… 150
7.3.3 设备可靠性设计要点及特点 …… 151
7.3.4 可靠度分配 …… 153
7.4 设备维修性 …… 154
7.4.1 维修性的定义 …… 154
7.4.2 设备的可靠性维修 …… 154
7.4.3 维修性的相关参数 …… 158
7.4.4 设备的有效度 …… 159
思考题 …… 160

第 8 章 设备的维修改造和更新 …… 161

8.1 机械设备的磨损规律及对策 …… 163
8.1.1 机械设备磨损的原因及规律 …… 163
8.1.2 设备磨损的形式及度量方法 …… 164
8.1.3 设备的磨损补偿方式与修理层次 …… 165
8.2 机械零件修复的新技术 …… 168
8.2.1 返修件的选择 …… 168
8.2.2 返修件的测绘和技术条件的确定 …… 169
8.2.3 装配精度和补偿环的选择 …… 170
8.2.4 几种广泛采用的修理新技术 …… 170
8.2.5 维修技术应用案例 …… 172
8.3 设备折旧的方法与政策 …… 173
8.3.1 设备折旧的意义 …… 173
8.3.2 设备折旧三要素 …… 174
8.3.3 折旧方法计算 …… 174
8.3.4 折旧政策和折旧基金管理 …… 177
8.4 设备的改造与更新 …… 178
8.4.1 设备改造 …… 178
8.4.2 设备更新 …… 180
思考题 …… 183

第 9 章 设备管理信息系统 …… 184

9.1 设备管理信息系统简介 …… 185
9.1.1 设备管理信息系统概述 …… 185
9.1.2 设备管理信息系统的功能 …… 186
9.1.3 信息系统的发展 …… 190
9.2 设备管理信息系统的特征 …… 193
9.3 设备管理信息系统的应用及案例 …… 199
9.3.1 设备管理信息系统的应用 …… 199
9.3.2 设备管理信息系统的应用案例 …… 200
思考题 …… 203

第 10 章 特种设备管理 …… 204

10.1 特种设备的范围及管理规定 …… 205
10.2 对特种设备使用单位的安全管理要求 …… 206
10.3 特种设备的使用 …… 207
10.4 特种设备档案管理 …… 211
10.5 特种设备现场管理 …… 212
思考题 …… 213

参考文献 …… 214

第 1 章

现代设备管理总论



知识要点	掌握程度	相关知识	应用方向
现代设备的概念与特征	熟练掌握	现代设备的概念，固定资产，设备的分类，现代设备的特征	了解现代设备的发展，分析设备的 4 大特征，进一步理解设备的属性。了解中国现代设备的发展状况
现代设备管理的概念与系统理论	了解	系统理论，现代设备的特点，现代设备的 6S 管理，TPM 推进	用系统理论来分析现代设备管理的概念，了解现代设备管理的特点和方法
现代设备管理的发展历史与阶段	了解	设备的预防维修，设备的计划维修，设备的系统管理，设备的综合管理	通过设备管理的发展历史分析设备管理的发展方向，理解我国设备的管理方法
现代设备管理的内容与发展趋势	熟练掌握	设备管理的内容、管理的思想、管理的任务、管理的方法	了解现代设备管理的基本内容和管理方法，分析现代设备管理的发展趋势



如何进行现代设备的经济规划与投资预测；如何进行设备的选型和购置；设备维修策略与计划如何确定才最经济；如何进行设备的维修改造和更新；如何科学地管理设备；等，本书将对以上问题一一展开解答。

通常来讲，设备一词即可指单台设备也可指成套设备，即为完成某种功能而将机电装置及其他要素有机组合起来的集合体。成套设备是设备的集合体，但不是简单的集合体，而是将多台设备有机地组合成为一个系统。

作为企业进行生产活动的重要物质技术基础，设备同时也是企业固定资产中的重要组成部分。在现代化大生产中，科学技术是第一生产力，现代设备的作用与影响日益突出。另外，随着科学技术的不断进步，企业对现代化的需求和依赖程度越来越高，人们要求以新的技术和新的成就改造传统的工业设备，从而创造出更多的物质财富造福于人类。

随着科学技术的发展，传统设备的现代化进程也得到了进一步提升，促使现代化设备的技术含量越来越高，现代设备管理水平也随之得到进一步提高。

现代设备管理涉及多门学科知识，目前已发展成为一门独立的综合性学科，并将设备寿命周期全过程的管理作为研究的主要内容。

1.1 现代设备的特征

1.1.1 设备

机器设备是社会生产力的重要组成要素，也是人类利用和改造自然的物质基础。在企业中设备是主要的生产工具，作为新技术的载体，设备也是企业现代化水平的重要标志。

在发达国家，设备被定义为“有形固定资产的总称”，即在物质资料的生产过程中用来影响或改变劳动对象的劳动资料。如土地与不动产、厂房和构筑物、机器及附属设施等均被视为设备。在我国，只有具备直接或间接参与改变劳动对象的形态和属性，并在长期使用中保持其原有形态和属性的劳动资料才被看作为设备。每一个企业在进行生产、辅助生产、试验、交通运输、生活与服务的过程都需要设备。

所谓设备是指：在企业生产中可供长期使用并在反复使用中基本保持原有实物形态和功能的劳动资料和物质资料的总称。

固定资产是物质资料生产过程中用来影响或改变劳动对象的劳动手段。作为固定资产一般应同时具备下列两个条件：一是使用期限超过一年，并且在使用过程中保持原有物质形态的资产；二是单位价值在规定标准以上。

设备属于固定资产的范畴，数十年来，我国对单位价值做过数次调整，根据行业不同做出各自的规定。事业单位的固定资产是指一般设备单位价值在一定数额以上，专用设备单位价值在800元以上，使用期限在一年以上，并在使用过程中基本保持原有物质形态的资产，如房屋、建筑物等。作为固定资产管理应同时具备两个条件：即耐用年限在一年以

上、单位价值在规定标准以上的财产、物资；单位价值虽未达到规定标准，但是耐用时间在一年以上的大批同类物资作为固定资产管理。事业单位的固定资产一般分为 6 类：房屋和建筑物、专用设备、一般设备、文物和陈列品、图书、其他固定资产。企业单位属于生产经营性质的固定资产只需要具备使用期限超过一年而不受单位价值的限制；非生产经营性质的固定资产同时具备使用期限超过两年、单位价值在一定数额以上两项条件，不具备以上条件的设备则列为低值易耗品而不作为固定资产。

1.1.2　设备的分类

设备的种类繁多，规格和型号各异，为了管理和维修，需要对企业的所有设备进行合理的分类。通常设备的分类有很多，可以根据不同的需要，从不同的角度来进行，常用的分类方法有以下几种。

按设备的用途分为直接生产设备、非直接生产设备、非生产设备。

按设备的使用情况分为在用设备、未使用设备、不需用设备。

按设备在使用中所起作用分为关键设备、主要设备、一般设备。在这种分类方法中，设备究竟划分为关键、主要还是一般设备，在各部门、各行业中均有相关的规定。例如，机械部规定修理复杂系数大于 5 的均为主要生产设备，在 5 以下的为非主要生产设备。

按设备的技术特征分为高精度设备、大型设备、重型稀有设备。

按设备的适用范围分为通用设备、专用设备。

按设备的工作类型分为机械设备大类、动力设备大类。

在不同的行业，设备的工作类型有很大不同，设备的划分方法也不同。

1.1.3　设备的特征

随着科学技术的发展及现代工业生产的要求，新的科学技术成果不断地在设备中得到推广和应用，使设备的现代化水平不断提高。现代设备到现在为止还没有一个统一的定义和说法，但大致具有以下特征。

1. 大型化或超小型化

现代工业生产的大型化、集中化导致了设备的大型化。设备的规模越来越大是某些现代化设备发展的趋势。大型设备可以提高劳动生产率，节约材料和投资，降低生产成本，同时也有利于新技术的推广和应用，适应了现代化工业生产的需要。因此大型化是现代设备的特征之一。目前，我国在钢铁、煤炭、造船、纺织、化工等行业中，设备的容量、重量、功率都明显地向大型化方向发展。例如，我国自主研制的 3.6 万吨黑色金属垂直挤压机(图 1.1)，我国自主设计制造的大型水轮机组——贯流式机组最大单机容量为 4.5 万千瓦，最大转轮直径 6.9 米；百万吨级乙烯裂解气压缩机组制造并试车成功标志着我国已具备百万吨级乙烯“三机”制造能力；我国研制的 12000 米特深井钻机投入使用；我国 1000 万吨炼油设备国产化率已经达 90%；我国研制的 30 万吨合成氨和 52 万吨尿素成套设备投入使用。我国率先开发的 17.5 万吨绿色环保好望角型散货船，自主开发的 30 万吨超大型油船，性能受到国内外船东的好评；斗轮式采煤挖掘机日产量达 24 万立方米；超重型卧式车床可加工长 4 米、重 500 吨的工件；重型地毯织机门

幅可达 5m 以上；上海 980 万吨的乙烯工程开始启动。所有这些都表明现代设备正在向大型化和集中化的方向发展。



图 1.1　3.6 万吨黑色金属垂直挤压机

在另一方面，由于新材料、新技术的不断应用，使微型化、轻量化的设备也得到了广泛的发展，特别是在电子技术方面。例如，大规模的集成电路——微机已经遍布了世界各地的寻常百姓家；纳米技术广泛运用于计算机行业；高科技生物工程的发展使 DNA 超微型计算机的问世变成可能。

2. 高速化

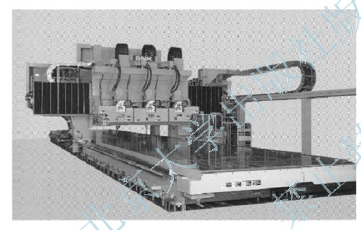
大型化使得降低单位容量设备的体积和提高功效成为一个重要课题，高速化则是解决这一问题的重要途径。所谓高速化是指设备的运转速度、加工速度、运算速度，以及化学反应速度等大大加快。例如，世界第一台内燃机的转速仅为 156r/min，而现代内燃机的转速则高达 10000r/min；现代车削与铣削的速度为 600～800r/min，磨削速度则达到 100m/s，而近几年得到广泛应用的超高速加工的主轴转速为 30000～60000r/min，是传统切削速度的 8～15 倍，超高速加工在航空、航天等制造领域已得到广泛的应用。2010 年我国生产出了运行速度超千万亿次的超级计算机。2010 年中国已成为世界上仅有几个制造时速超过 450km 高速列车的国家之一，已完全掌握了动车组列车的总成、车体、转向架、列车网络控制和制动系统等关键技术及主要配套技术(图 1.2)。高速电梯技术使一家有二三十层客房的星级宾馆的 6 部电梯同时运行，客人按下按钮 2 分钟内准有一部电梯到达客人层。

3. 精密化

精密化即决定零件使用性能的加工精度和表面质量越来越高，设备的工作精度越来越高。比如机械制造工业中的金属切削加工设备(图 1.3)，20 世纪 50 年代精密加工的精度为 1μm，20 世纪 80 年代提高到了 0.05μm，到 21 世纪初，又比 20 世纪 80 年代提高了 4～5 倍。现在，主轴的回转精度达 0.02～0.05μm、加工零件圆度误差小于 0.1μm、表面粗糙度 Ra 小于 0.003μm 的精密机床已在生产中得到使用(图 1.4)。



图 1.2　动车



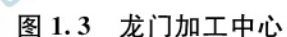

图 1.3　龙门加工中心



图 1.4　加工中心加工的复杂零件

4. 功能高级化、智能化

在现代工业生产中，设备的功能高级化、智能化可以提高生产效率、减轻人的劳动强度，实现高效、高产、低能耗，既是现代设备的重要标志之一，也是设备现代化的努力目标，在世界各国都很受重视。例如，在现代制造业中，柔性制造系统(图 1.5)由统一的信息控制系统、物料储运系统和一组数字控制加工设备组成，能适应加工对象变换的自动化机械制造系统，现代仓储系统、高速铁路的控制系统等。

随着电子技术、计算机科学技术、信息控制技术向机械工业的渗透，现代设备的功能越来越强，性能越来越好。尤其是计算机技术运用到了机电设备，设备采用数控加工以后，尤其是超高速加工在国内的应用，设备的功能更加完善，设备的精度也进一步提高。设备的操作工在设备的运行中只进行指令的设置就行了。如今数控设备百花齐放，层出不穷，各种加工中心也开始出现。比如现在高性能的汽车、飞机等设备也越来越多，各项功能也更加完善。



图 1.5　中国机床一号创新产品 FMS 柔性制造系统

5. 自动化、复杂化

自动化和复杂化集中表现在计算机广泛应用于设备上，现代设备应用于生产过程的连续化和自动化控制越来越高，这就导致了现代设备的系统趋于复杂化。例如，现在的冶金、石油化工系统采用计算机进行生产过程全自动控制已经普遍化(图 1.6)。金山石化涤纶二厂用自动化仪器仪表控制长丝的生产过程；在煤炭生产中综采设备可以将采煤、装载、支护、运输、采空区处理等实现连续、综合机械化作业；宇宙飞船的发射、飞控、返回等都是自动化、复杂化发展的需要。自动化不仅可以实现各生产线工序的自动顺序进行，还能实现对产品的自动控制、清理、包装、设备工作状态的实时监测、报警、反馈处理。在我国，一汽、二汽已拥有锻件、铸件生产自动线及发动机机匣等零件加工自动线多条；家电工业中有电路板装配焊接自动线、彩色显像管厂的玻璃罩壳生产自动线；冶金工业中有连铸、连轧、型材生产自动线；港口码头有散装货物(谷物、煤炭等)装卸自动线。宝钢一期工程使用 16 台计算机和 449 台微机联网，实现了多层次的生产自动控制。

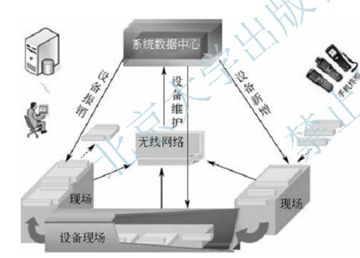


图 1.6　现代设备管理的全自动化

总的看来，随着科技的进步和发展，数控技术、柔性加工技术、虚拟技术、信息技术、纳米技术得到应用，现代设备向自动化、高效率、高可靠性、绿色和智能方面发展。现代设备为了适应现代经济发展的需要，广泛地应用了现代科学技术成果，正在向着性能更加高级、技术更加综合、结构更加复杂、作业更加连续、工作更加可靠的方向发展，为

经济繁荣、社会进步提供了更强大的创造物质财富的能力。

现代设备在带给人类丰厚物质、产品奖励的同时，也极大地提高了人类生产，提高了产品质量，增加了产量和品种，减少了原材料消耗，充分利用了生产资源，减轻了工人劳动强度等，从而创造了巨大的财富，取得了良好的经济效益。现代设备也给人类带来了灾难性的一面。如：苏联的核电站、印度的农药厂、日本的大地震及海啸带来的核泄露事件等，这些都向人类提出了挑战。

1.1.4 我国设备现状及装备制造业

改革开放以来，我国机械制造业取得了巨大的成就，从引进消化吸收向自主创新迈出了坚实的步伐。我国的科技创新体系建设稳步推进，在全国范围内形成了以广东、沈阳、徐州、湖南、浙江为代表的颇有影响力的产业集聚地。我国无论是大型装备、交通运输装备、制造装备，还是航天、海洋工程，其自主化水平都得到了全面提高。2008年，我国作为世界机械制造大国，第二机械、电气与交通运输设备出口大国，已经屹立于世界机械制造大国之林。

1. 科技创新体系建设稳步推进，机械制造工业自主化水平显著提高

我国科技创新相关法律法规和政策体系已逐步完善，科技投入较快增长。2000年以来，我国研发经费支出以年均23%的速度增长。2009年达到5802.1亿元，也已跻身经费投入大国之列。我国的自主创新能力不断提高，科技实力显著增强。2008年我国科技论文被国外主要检索工具SCI、ISTP、EI收录的总数的世界排名分别由2000年的第八位、第八位和第三位上升到第二位、第二位和第一位。2009年国内职务发明专利申请授权数为5.2万件，是2000年的18.5倍。2009年，规模以上工业企业新产品销售收入为65838.2亿元，是2000年的7.0倍；新产品出口为11572.5亿元，是2000年的6.7倍。我国企业已成为投入和研发的主体，大中型工业企业研发经费投入在全国的占比达50%以上。截至2000年，我国已建成国家重点实验室220个，覆盖了大部分学科领域，成为我国制造业创新和发展的坚强后盾。

机械主导产品的技术来源国内占比已从20世纪80年代的24.5%上升到目前的60%。在此基础上，我国机械产品国内市场自给率由改革开放之初不足60%升至2008年的80%以上。

2. 大型装备能力不断增强

1）能源设备

截至2008年底，我国已制造超临界机组158台，其中60万千瓦超临界机组107台，100万千瓦超临界机组51台，火电装备水平有了很大提高。随着我国电力科技水平的迅速提升，超临界机组技术应用达到国际先进水平，大型空冷发电机组的开发应用居国际领先地位，同时也是世界上大型循环流化床锅炉应用最多的国家，整体煤气化联合循环发电技术(IGCC)的关键设备——气化炉的自主化研制也已进入工程试用阶段，F级大型燃气轮机联合循环发电机组的整套设备已经实现国产化。我国已能独立设计制造三峡右岸单机容量70万千瓦的水电机组，其容量和性能都代表了当今世界先进水平；在轴流式机组方面，国内制造的水口电站机组单机容量达到20万千瓦，这也是世界上容量最大的该类机组；在贯流式机组方面，国内制造的机组最大单机容量为4.5万千瓦，最大转轮直径6.9m，已具备自主设计制造大型贯流式机组的能力；在抽水蓄能机组方面，国内机组的制造水平

与国外差距较大，但已引进了国外先进技术。秦山二期扩建工程三号机组堆内构件首次实现全部国产化，标志着我国核电反应堆关键设备的设计制造技术已达到国际先进水平。此外，体现国际最高锻造水平的核电关键部件——整体顶盖在中国一重15000吨水压机上完成锻造，各项技术参数均达到了国际先进水平。

2008年中国新增风电装机容量630万千瓦，新增量位列全球第二，截至2008年底总装机容量达到1221万千瓦，同比增长106%，总装机容量位列全球第四。近日，具有自主知识产权的国内首批3台国产化3MW海上风电机组，在首个国家海上风电示范工程——上海东海大桥10万千瓦海上风电场正式投入运行。中国有近70家企业涉足风电整机制造，17～18家企业完成了样机的制造、并网发电，中国风电机已开始出口国际市场。图1.7所示为中国海上“定制机”。



图1.7　中国海上风电“定制机”

2）石化设备

2009年1月，我国首台百万吨级乙烯裂解气压缩机(图1.8)组由沈阳鼓风机集团制造并试车成功，标志着我国已具备百万吨级乙烯“三机”制造能力。2009年3月，由中国石油宝石机械公司研制的我国首台12000m特深井钻机投入使用，标志着我国陆地和海洋深水油气田、大位移井及其他复杂油气田超深油气藏的勘探开发钻井水平已经提高到一个新层次。目前，我国1000万吨炼油设备国产化率已经达到90%，30万吨合成氨和52万吨尿素成套设备实现了国产化。

3）冶金设备

冶金设备通过引进消化吸收到自主创新，已经跻身世界先进行列。宝钢的建设与发展大力推动了国内冶金及设备工业的发展，参与宝钢工程设计、安装、设备制造和物资配套的企业通过消化宝钢的引进技术，大大缩短了与国际先进水平的差距。宝钢一期工程建设时，我国还不具备制造大型现代化冶金设备的能力，主体装备成套引进，少部分设备国内制造，设备国产化率只有12%；宝钢三期工程以国内设计和制造为主，部分设备采用“点菜式”引进而由国内总成，将设备国产化率进一步提升到80%以上，而且国产设备还进入

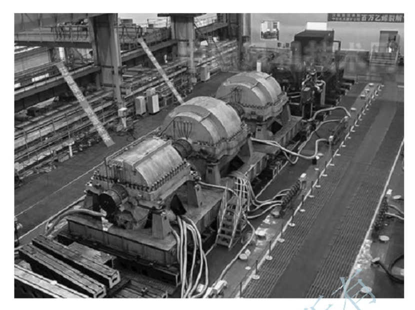


图 1.8　百万吨乙烯裂解气压缩机

了高难度、高技术的“心脏”部位；宝钢“十五”项目建设的国产化率则上升到 88%。图 1.9 所示为我国自主研发的大型钢铁设备。

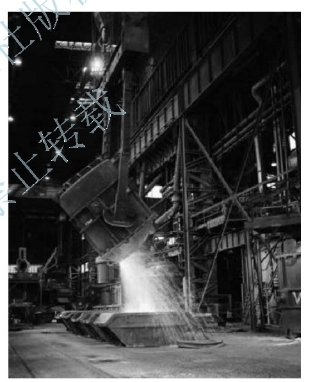


图 1.9　我国自主研发的大型钢铁设备

4）交通运输设备

我国汽车制造业实现多领域、全方位快速发展。2009 年 10 月，中国首次迈进千万辆级汽车生产大国的行列，中国汽车工业用 7 年的时间创造了过去 53 年的总产量。新能源汽车也取得了初步成效，向北京奥运会提供了 350 辆各类车型的节能与新能源汽车，并正在开展全国“十城千辆”（已列为 13 个城市）电动城市公共汽车运营试点。中国已成为世界上仅有几个制造时速 350 公里高速列车的国家之一，已完全掌握了动车组列车的总成、车体、转向架、列车网络控制和制动系统等 9 大关键技术及 10 项主要配套技术。在 2011 年交付的京沪高铁采用的动车组的国产化程度达 85% 以上。

我国船舶制造业已形成了一批标准化、系列化船型，而且在一些高度复杂的船舶和海洋工程装备方面也取得了重大突破，具备了自主设计大型自升式钻井平台和半潜式海洋平台的能力。我国率先开发的 17.5 万吨绿色环保好望角型散货船已成为国际品牌；自主开发的 30 万吨超大型油船（VLCC），性能受到国内外船东的好评；具有自主知识产权的集装箱船已成系列。

飞机制造业已逐步形成涡扇支线飞机、涡桨支线飞机、中型货运飞机、小型直升机、

中型直升机、大型直升机、客货混装多用途飞机、农林专用飞机、小型通用飞机、教练机十大自主产品系列，使中国成为世界少数几个能够生产系列航空产品的国家之一。

5）制造装备

高档数控机床和大型基础制造装备是工业现代化的基石，是高技术产业发展的支撑。我国数控机床产量从2001年的1.7万台增至2008年的12.2万台，数控机床产量跃居世界第一，95%的经济型数控系统和一些中高档数控系统由国内制造。精密加工技术有了新进展，数控金切机床的加工精度已从原来的丝级（0.01mm）提升到目前的微米级（0.001mm），有些品种已达到0.05μm左右。2009年，中国兵器工业集团自主研制的3.6万吨黑色金属垂直挤压机在北方重工公司成功完成热调试，标志着我国大口径厚壁无缝钢管制造技术一举打破国外垄断并达到世界领先水平。

6）工程机械

目前，我国工程机械行业形成了独立自主的新产品研发体系和现代化研发手段，新产品开发周期缩短到1年左右，大大提高了应对市场的能力，每年有70～80个新产品投放市场，新产品产值平均每年达到25%左右。重点骨干企业科研开发经费已经占到销售额的2%以上，少数企业达到5%的国际先进水平。2009年公布的全球工程机械50强中，中国企业占8席。中国成为最大的工程机械制造基地(图1.10)。



图1.10　工程机械制造基地

7）航天工程

我国运载火箭和卫星技术已达到国际先进水平，先后研制了14种型号的长征系列运载火箭，具备发射各种轨道空间飞行器的能力，在可靠性、安全性、成功率和入轨精度等方面都达到了国际一流水平。我国在载人航天和深空探测领域取得了重大突破，20余项技术达到了国际先进水平。我国航天技术应用达到新水平，在1000多种新材料中，近80%是在航天需求的牵引下研制的，有近2000项航天科技成果已移植到国民经济的各个部门。航天科技工业的发展带动了微电子技术、计算机技术、光电技术、新材料技术、新能源技术、生物技术、纳米技术等高新技术产业群的崛起，有力地提升了我国科学技术的整体水平。图1.11和图1.12所示分别为我国生产的歼-10战机和飞机发动机。

3. 我国已成为世界制造大国和出口大国

我国制造业增加值在世界的份额不断提高。按照2000年不变价计算，我国制造业增加值占世界的份额由1995年的5.1%上升到2007年的11.4%。在22个工业大类中，我国制造业占世界比重在7个大类中名列第一，有15个大类名列前三。而在发展中国家中，除了一个大类名列第11位外，其他21个大类所占份额都名列首位。



图 1.11　歼-10 战机

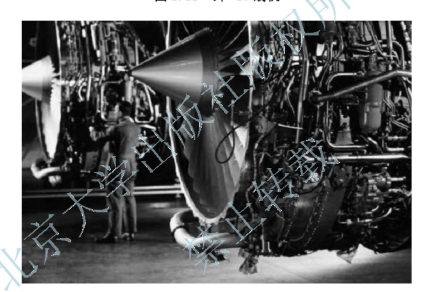


图 1.12　飞机发动机

改革开放以来，我国机械制造业取得了突飞猛进的发展。在 2001 到 2010 的十年间，我国机械工业总产值从 1.44 万亿元提高到 14.38 万亿元，年均增速高达 25%以上。全国机械工业规模以上企业从 3.4 万家增加到 10.7 万家，资产规模从 2 万亿元增长至 10 万亿元。这期间连续 8 年机械工业的产销超过 1 万亿元。2010 年，机械工业的产销年增长量达 3 万亿元，实现产销均超过 14 万亿元。

我国的装备自给率从 2001 年的 70%，提高到 2010 年的 85%。机械工业对全国工业新增总产值的贡献率达到 22.29%。机械工业一大批产品产量跃居世界前列，发电设备连续多年实现超高速增长 2010 年产量超过 1.2 亿千瓦，与 2000 年比增长近 10 倍。汽车工业实现了跨越式发展，从 2000 年的 207 万辆到 2010 年产销分别达到 1826 万辆和 1806 万辆，是 2000 年的 9 倍。数控机床 2010 年产量超过 22 万台，是 2000 年的 15 倍。机床工业 2009 年以 153 亿美元产值位居世界首位。大中型拖拉机由 2000 年的 4.1 万台提高到 2010 年的 38 万台，十年间增长 9 倍多。此外，摩托车、内燃机、装载机、汽车起重机、轴承

等众多产品产量位列世界前茅。

我国已成为世界机械制造大国。德国机械设备制造业联合会公布的一项评估称，2008年中国已超过德国成为世界机械制造大国。我国有210多种工业产品产量排世界第一。其中，发电设备产量、数控金属切削机床产量均位居世界第一。在常规发电设备、输变电设备、港口装卸机械、水泥成套设备等制造领域，中国不仅早已替代进口，并已占领了重要的海外市场。

根据联合国的统计，2009年，我国出口总额达14306.9亿美元，位居全球第二，仅比第一位的德国低354.5亿美元，比第三位的美国高出1307.9亿美元。德国2009年出口总额为8032亿欧元，相当于11213亿美元，比2008年减少了18.4%，少于中国的12016亿美元。中国的年出口额首次赶超德国，跃居全球首位。

4. 我国已形成了一批著名企业、制造产业集聚地

截至目前，我国装备工业领域已形成了一批具有综合实力的大型企业集团和专业化企业，如一汽等四大汽车企业集团、上海电气集团、南车集团、北车集团、中航工业集团、国机集团、通用集团等；一批具有较强综合实力的股份制企业和民营企业正在成长，如中联重科、三一重工、沈阳机床、大连机床、特变电工、天马轴承、万向集团等；一批由科研院所和大学创办的高科技企业正在崛起，如振华港机、南瑞继保、山河智能等。在国家大力倡导和推动下，我国各地和相关企业都在加快区域布局调整，推进产业集聚，例如以下地区。

广东——广东省已成为全国最大的光电产业基地。广州、深圳、佛山分别引进LG、飞利浦、群康科技、中华映管、奇美电子的液晶模块项目，带动大批配套企业进驻珠三角，产业拉动效应已开始显现。

沈阳——沈阳市先进装备制造业基地建设取得新突破。2008年，沈阳市规模以上装备制造业实现增加值800亿元，同比增长23.2%，使该市工业比重上升至46.6%。企业自主创新能力不断提高，以盾构机等产品为主的地铁装备产业化步伐加快，填补了我国装备制造业发展的空白。

徐州——以徐工集团为核心的徐州工程机械产业经济总量已经占到了全国同行业的25%，工程机械企业已经发展到1000多家，形成了庞大的产业集群在技术、规模、品牌、配套能力4个主要方面在国内均处于行业领先地位。

湖南——长沙有29家规模以上工程机械企业，其中大中型企业6家，生产的产品涉及12个大类100多个小类400多个品种规格。长沙制造的混凝土机械在国内市场的占有率达到80%，液压静力压桩机为70%，汽车起重机为30%，旋挖钻机为45%。

浙江——浙江作为我国模具制造大省，2008年，模具出口总额为3.22亿美元，占全国模具出口总额的16.73%。模具企业主要集中在宁波市和台州市，这两个地区共有模具生产厂点4000多个，其中专业模具生产企业2000多家，从业人员10多万人，模具产值200多亿元。

5. 中国装备制造业面临的挑战

改革开放以来，我国装备制造业发展明显加快，重大技术装备自主化水平显著提高，装备制造业支柱产业的地位进一步突出，一批重点产品已达到国际先进水平，一批装备制造企业在国际上崭露头角，一批产业聚集区正在加快形成，部分产品技术水平和市场占有率跃居世界前列。但是，同先进国家相比，我国装备制造业仍存在不小的差距。

我国制造业以低端为主，产品质量和附加值不高，我国多数出口产品是贴牌生产，出口企业中拥有自主品牌的不足 20%。由于我国产品附加值低，往往采用低价竞争和模仿国外新产品的方式来赢得订单，在国际市场上频繁遭遇贸易摩擦，截止 2008 年，我国已连续 14 年成为反倾销调查的最大受害国，我国产品居美国 337 调查首位、美国 CPSC 召回首位、欧盟 RAPEX 通报首位。

(1) 创新能力不强，核心竞争力不足。

(2) 产品附加值较低，品牌竞争力弱。

(3) 能耗高，效率低。我国的制造业整体一直未能摆脱高损耗和低效率的困局，制约着我国制造业竞争力的提高。我国能源利用率约为 33%，发达国家能源利用率约为 43%。

(4) 信息化水平较低，制造业企业相对其他行业较高。在 2008 年度中国企业信息化 500 强中：参评企业销售收入总额 11.6 万亿元，相当于当年 GDP 的 38.6%。入选企业中制造业企业的比例为 58.7%。入选信息化 500 强的企业中：34.5%达到中等发达国家水平，6.4%居于国际领先水平。

大型企业较高，民营企业较低，入选信息化 500 强的企业中：有 12 家是世界 500 强企业，174 家企业是中国 500 强企业，民营企业的数量虽然比以往有所提高，但占比仅为 16.8%。

战略性新兴产业要求机械制造业能够为其提供高效率、高精度、环境友好型和能源节约型的装备和产品，对制造业提出了新的要求。

美国、欧盟、日本等各国都将争夺经济科技制高点作为战略重点，发展高技术及产业新能源及其所催生的新产品、生物医学等领域成为各国所竞相发展的重点领域。我国也在 5 个领域提出了大力发展战略性新兴产业的要求。

(1) 新能源产业发展。

(2) 传感网、物联网关键技术。

(3) 新材料与智能绿色制造体系。

(4) 运用生命科学推动农业和医药产业发展。

(5) 探索空间、海洋和地球深部，促进海洋资源合理开发和产业发展。

“绿色制造、智能制造”是未来战略性新兴产业的关键词。

1.1.5　我国装备制造业的指导原则与目标取向

1. 加快发展高端装备制造

装备制造业是为国民经济各行业提供技术装备的战略性产业，产业关联度高、吸纳就业能力强、技术资金密集，是各行业产业升级、技术进步的重要保障和国家综合实力的集中体现。

重点产业结构调整，装备制造行业要提高基础工艺、基础材料、基础元器件研发和系统集成水平，加强重大技术成套装备研发和产业化，推动装备产品智能化。推动装备制造由生产型制造向服务型制造转变，推进产品数控化、生产绿色化和企业信息化。发展战略性新兴产业及基础设施等重点领域所需装备。推进铸造、锻造、焊接、热处理、表面处理等基础工艺专业化生产。提升轴承、齿轮、磨具、液压、自控等基础零部件水平。

在高端装备制造产业领域，《规划纲要》提出，装备制造业重点发展航空装备、卫星及应用、轨道交通装备、智能制造装备。在航空装备方面，将大力发展系列支线飞机，重点突

破发动机关键技术装备和空中管理系统；在轨道交通装备方面，提升关键零部件自主化水平，形成自主创新体系和现代化产业集群，重点研发高速列车、中转列车、城际和城市快捷轨道车辆列车运行控制系统；在智能制造装备方面，重点推进精密和智能仪器仪表与试验设备、智能控制系统、关键基础零部件、高档数控机床与智能专用装备，实现生产过程自动化、智能化、精密化、绿色化。“以重大专项为依托，提升自主创新能力将成为我国装备制造业下一个5年的重点任务。建立数字化装备开发的技术平台、突破装备数字化共性关键技术、提升装备技术水平同样将成为下一步装备制造业调结构的重要举措”。“十二五”期间，装备制造业的战略是‘调整转型、创新升级’，目标是“推进装备制造业由大变强”。

据了解，经过多年发展，我国装备制造业已经形成门类齐全、规模较大、具有一定技术水平的产业体系，成为国民经济的重要支柱产业。特别是《国务院关于加快振兴装备制造业的若干意见》实施以来，装备制造业发展明显加快，重大技术装备自主化水平显著提高，国际竞争力进一步提升，部分产品技术水平和市场占有率跃居世界前列。2006—2010年，我国装备工业增加值增长超过25%。2010年前11个月规模以上装备制造企业总体增长21%，实现业务收入13万亿元，同比增长34%；实现利润总额超过9千亿元，全行业销售利润率为7.18%；实现出口1.4万亿元，同比增长30%。

2010年7月，我国实验快堆首次临界成功，该实验快堆有200多个系统、设备达7000多台套，其中快堆的核心——堆容器装备的制造最为艰难。据了解，该装备高12米，直径8米，壁厚25毫米，内部构件多达5.5万件，总重700多吨的堆容器属于大型薄壁容器，制造难度极高。中国一重集团与中国原子能科学研究院联合设计并承担了这一大型非标设备的制造和安装，并实现了一次制造成功、一次运输成功、一次安装成功，创造了快堆大型核设备制造的高质量，也创造了我国装备制造业自主创新的新纪录。这一成功标志着我国在核设备设计制造能力方面取得了新的突破。核电装备的飞速发展只是我国装备制造业的一个缩影。在工程机械、数控机床、汽车及零部件等诸多领域，我国装备制造业不断取得新成果，高端装备自给率不断提高。据了解，我国装备制造业体系非常完善，只要是装备，在我国均可以找到生产企业，这在国外是没有的。而且，我国装备制造业总体规模国际领先，行业连续保持出口贸易顺差，实现了历史性转折。

2. 我国装备制造业的指导原则与发展目标

围绕建设装备制造业强国的目标，“十二五”期间应着力抓好以下几个方面工作：一是着力调整产业技术结构和企业组织结构，带动产业转型和技术升级。二是着力加强自主创新，加快形成自主技术、自主标准和自主品牌。三是着力培育发展战略性新兴产业，促进形成新的竞争优势和新的经济增长点。四是着力推进信息化与工业化的融合，提升装备制造业的整体素质。

做大做强装备制造业，要坚持以下几项指导原则：一是把提高发展质量和效益放在突出位置。按照中国特色新型工业化的总体要求，转变发展理念，创新发展模式，在调整产业结构和转变发展方式上下真功夫，切实提高发展质量和效益，实现发展速度与质量、结构、效益相统一。二是把推进自主创新作为转变发展方式的中心环节。要充分发挥科技引领和支撑作用，着力突破产业核心技术和关键技术，突出抓好国家科技重大专项，大力推进重大技术装备自主化，全面提升产业核心竞争力。三是把优化产业技术结构和企业组织结构作为结构调整的主攻方向。大力发展高端技术和装备，加快淘汰落后技术和工艺，不

断提高行业整体技术水平，着力消除体制障碍，支持企业采取多种形式实施兼并重组，提高产业集中度，培育龙头骨干企业。四是把培育发展战略性新兴产业作为抢占国际竞争制高点的重要举措。要把握世界科技和产业发展方向，选择若干战略性和前瞻性重点领域，加大科技投入，强化政策支持，加快形成自主技术标准，促进形成新的竞争优势。五是把加强技术改造和推进两化融合作为提升产业整体素质的长期任务，围绕结构调整和发展方式转变，加快运用高新技术改造提升装备制造业，引导企业加大技改投入，推进信息化与工业化融合，不断增强产业发展的整体素质。

在建设装备制造业强国的总体战略目标指引下，我国装备制造业发展的目标取向：一是自主创新能力显著提高，突破和掌握一批重点领域的核心技术，形成一批自主技术和标准，重大技术装备自主化能力和水平大大提升，科技重大专项取得重大阶段性成果，全行业新产品率超过30%，获专利授权数年均增速达到50%，科技进步对经济增长的贡献率大幅提高等；二是产业结构优化升级，传统装备制造业整体素质进一步提高，战略性新兴产业形成局部优势，现代制造服务业实现持续快速发展，形成一批具有国际竞争力的大企业大集团和国际知名品牌，发展一批具有全球影响力的装备制造集聚群，新兴产业产值占全行业工业总产值的比重达到15%，现代制造业的比重占全行业总产值的30%以上；三是发展的协调性显著增强，常规装备制造业水平位居世界前列，重大成套装备、高技术装备和高技术产业所需装备自主化率达到80%左右，基础配套能力大幅提升，关键零部件、基础件自主化率达到80%左右，通用零部件基本满足国内需求等；四是信息技术应用水平大幅提高，信息技术在研发设计、生产控制、市场营销、企业管理、人力资源开发等关键环节的融合渗透取得长足进步，装备智能化和生产过程自动化、柔性化、网络化水平大幅提升；五是发展质量和效益稳步提高，全要素生产率明显提高，工业增加值率达35%左右，经济效益综合指数高于全国工业平均水平。在优化结构、提高效益基础上实现装备制造业平稳、协调、健康发展。

加快结构调整和发展方式转变，努力建设装备制造业强国是“十二五”时期我国装备制造业的重大战略任务。具体任务可大体细化为：一是大力推进科技创新，增强自主创新能力。实施国家科技重大专项，跟装备有关的，一个是大型飞机，另一个是高档数控机床和重大装备；要加速重大装备自主化；大力发展基础配套产品。二是实施自主品牌和质量振兴战略，促进“中国制造”向“中国创造”转变。三是推进企业兼并重组，发展具有国际竞争力的大企业大集团。四是加快重点行业优化升级，发展现代装备制造体系。五是大力发展战略性新兴产业，培育新的竞争优势和经济增长点。六是发展现代制造服务业，促进生产型制造向服务型制造转变。七是推进信息化与工业化深度融合，提升信息技术应用水平。八是推进绿色制造，推进节能降耗减排治污。

1.2　现代设备管理简介

1.2.1　现代设备管理的概念及其特点

所谓设备管理，就是根据企业的生产经营方针，对主要生产设备的规划、设计、制造、选购、安装、使用、维修、改造、更新、直到报废的全过程，以及相对应地进行一系

列的技术、经济和组织活动的总称。

现代设备可以站在系统理论的基础上来进行理解。首先，系统是由若干个具有独立功能的元素组成的，这些元素之间互相联系、互相制约、共同完成总目标。任何系统的存在都有3个必要条件：机构、功能和相互目标。其次，系统组成原理是指任何系统都由输入、处理、输出、反馈、控制5个基本元素组成。在设备管理系统中存在3种运动形态。

设备的物质运动形态：规划、选购、验收、安装、调试、使用、维修、更新、改造等。

价值运动形态：伴物流而产生的。

信息运动形态：伴随着物流、价值流而产生的，如设备维修检修指令，各种检修计划、维修记录、设备状态等。

随着科学技术的发展，设备该如何处理、用好这3种流，其核心与关键在于正确处理可靠性、可维修性与经济性的关系，以获取最大的经济效益。现代设备有如下特点。

1. 现代设备管理的系统理论

设备管理包括设备的寿命周期，改变了传统设备管理只管维修的狭义概念。

现代设备管理强调设备寿命周期一生的管理，设备寿命周期理论是根据系统论、控制论和决策论的基本原理，结合企业的经营方针、目标任务，分析和研究设备寿命周期3个方面的理论，即设备寿命周期的技术理论、设备寿命周期的经济理论和设备寿命周期的管理理论。

所谓设备寿命周期的技术理论是指加强设备的技术载体作用，研究寿命周期的故障性和维修性，提高设备有效利用率，采用使用的新技术和诊断修复技术，从而改进设备的可靠性和维修性。

设备寿命周期的经济理论是指研究磨损的经济规律，掌握技术经济寿命，对设备的投资、维修和更新进行技术经济分析，力争投入少，产出多，效益高，从而达到寿命周期费用最经济和提高设备综合效率的目标。

设备寿命周期的管理理论是指研究设备设计制造和使用各阶段的责任者及管理者三者相结合的动态管理，建立相应的模型和模拟实现适时的信息反馈，从而实现设备系统全面的综合管理。

2. 全员生产维修 TPM

“全员生产维修制”是日本在20世纪70年代初开始推行的一种设备管理和维修制度。全员生产维修被日本工程学会定义为：以追求设备综合效率最高为目标；建立以设备一生为目标的全系统的预防维修；与设备管理相关的所有部门参与；从企业最高管理层到一线员工的参与；开展小组自主活动，推进生产维修。根据该定义，全员生产维修制的中心思想是“三全”，即“全效率、全系统、全员参加”。

1）全效率

全效率即综合效率。按照全员生产维修的观点，影响设备综合效率的主要因素是故障停机损失、生产速度下降造成的损失，以及生产废品造成的损失，三项损失分别由时间开动率、性能开动率和合格品率来进行表征。

设备综合效率＝设备有效度×设备性能效率×产品合格率

其中：　　设备有效度＝设备计划有效度×生产准备度

综合效率所涉及的时间要素定义如下。

设备理论作业时间＝设备可利用时间－计划停机时间

设备的作业时间＝设备可利用时间－计划停机时间－工作准备时间

设备净作业时间＝设备可利用时间－计划停机时间－工作准备时间－故障停机时间

设备可利用时间：指理论上的设备可利用时间。按每天 3 班、每 8 小时工作制计，每天理论上的可利用时间为 1440 分钟。

计划停机时间：纳入计划的非生产时间，包括班中休息、班中用餐时间，维护时间。

工作准备时间：包括班前准备时间、设备换装时间、调整时间、测试时间。

故障停机时间：由任何设备故障造成的非计划停机时间。

全效率所追求的目标是生产设备非计划停机时间为零；由生产设备故障引发的产品缺陷为零；生产设备的速度损失为零。

2）全系统

设备设计阶段采用维修预防，使用阶段实行预防维修，发生重复故障时采用改善维修（改进设备的可靠性、维修性，使故障减少），建立以设备一生为对象的生产维修机制。

3）全员

操作者的自主维修。凡是涉及设备寿命周期各环节的所有部门及员工均应参与设备管理。全员维修模式实际上反映的是一种企业文化，这种企业文化的核心就是团队精神，强调的是协作。小组的自主活动、6S 活动、设备点检制等都具有鲜明“全员”特色的管理模式。

3. 设备维修专业化和协作化

社会化生产阶段分工越来越细，生产协作越来越需要加强，生产专业化程度也越来越高，生产实践证明，只有专业化生产才能品种少、批量大，采用高效专用设备可以使劳动生产率提高，质量好，成本低。“大而全”或“小而全”的企业组织形式已不适应生产发展的需要，组织机械修理的专业化是现代化发展的必然趋势。

设备维修的专业化具有效率高，修理质量好，修理成本低，服务周到等特点。实行维修工作专业化可以减少许多“重复”的机修厂和车间，节省大量的机床，提高机床的利用率，减少固定资产占用额，降低备品备件积压资金，合理利用人力，从而提高设备管理工作的经济效益。但发展专业化必须以协作化为前提。在工业发达国家的企业中，全厂各种设备的维修工作大部分由协作单位承包。尤其是在大城市的企业，通常本厂设备部门只承担一小部分维修工作量。例如，日本某钢铁公司下属的一个钢铁厂，所用设备修理人员总计 4313 人，其中直属本厂的仅有 1564 人，占 36%，修理协作单位有 2749 人，占 64%，这些协作单位大部分有专业特长。例如：有的承包企业专门修理连铸设备，有的专门修理皮带运输机和进行辊筒补胶等，协作厂与公司组成固定的协作关系。在这种情况下，企业内的设备部门除了只承担厂内部分修理工作，以及设备的改进和专用设备的制造外，工作重点则逐步放到设备的技术改造研究及专用设备的设计方面。自行研究、设计、制造专用设备可以较快地吸收科学技术成果，使设备的技术性能适应生产的发展。

4. 计算机辅助设备管理

现代工业装备的高技术特性，以及企业的网络化、全球化、数字化趋势，使基于计算机与网络技术的管理作用日益突出。管理工具、管理组织、管理绩效评估，以及管理流程的再造和优化都离不开信息技术的支持。计算机辅助设备管理提供了强大的设备数据的采集能力、事务处理能力和联机分析能力，使计划、管理、决策工作日益精确、高效和科学，计算机辅助设备管理使设备的现代化管理朝着更高的目标和要求发展，是企业管理水

平的一个重要标志。

5. 设备的可靠性与可维修性管理

对设备的要求，首要的是设备必须能长期可靠地工作，不出故障不损坏，在此前提下才谈得上高效能、高效率和高效益。这里所谓的长期稳定可靠就是可靠性科学的概念。第二次世界大战中发展起来的可靠性理论在设备管理中具有深远的影响，以致国际航空协会从1965年开始将飞机的设备管理称为可靠性管理。设备不可靠就会发生故障，故障可能导致事故，事故就会造成损失。但故障是一个随机事件，为了对故障和寿命进行预测和控制，于是引入了概率和统计的规律；维修时间的长短、维修工作量的大小也是一个随机事件，于是引入了随机计量的方法。这套方法的指标如MTBF(平均无故障工作时间)、MTTF(平均寿命)、MTTR(平均维修时间)、可靠度、故障率、维修率、设备综合效率(OEE)、设备完全有效生产率(TEEP)等已普遍推广和使用，对于故障的控制和管理起到了积极作用。

6. 加强设备更新改造，提高设备技术素质

经营决策问题是企业管理的中心，也是设备管理中的当务之急。其主要内容为合理的设备配置，合理的设备选购、自制，以及合理的设备折旧、技术改造和更新等。设备更新与改造是提高生产技术水平的重要途径，也是挖潜、革新、改造的一个重要环节。有计划地进行设备更新改造，对充分发挥老企业的作用，提高劳动生产率具有重大意义。

近几年来，设备更新在世界工业发达国家日益受到重视，其主要特点是更新规模越来越大，更新速度越来越快，效果也越加显著。设备长期使用，磨损严重，构成落后，必然带来生产率低，消耗高，产品质量差，各项经济指标不高等问题。因此，要实现现代化，必须加快设备的更新改造，提高设备技术素质。例如：FC-2251Q型肯沃斯大型冲压车床投产2年来，蓄油池被酸液严重腐蚀，已出现渗漏现象，加之原有上油不好和加油溏砂严重容易引起走空泵，影响加工质量，2006年5月，设备部和维修部主管设备领导及台上大班认真研究、测绘，制定改造方案，先后新制、改造了6台大型冲床的蓄油池，使用效果十分理想。2007年1月，工程部在X63W卧式铣床安装了XC634A型万能立铣头，配置了一台F11160A型万能分度头后，变卧式铣床为立、卧式两用铣床，使用效率提高了5倍以上。加工精度和粗糙度能提高了两个等级，不仅能加工800mm×230mm的件，还可以在铣床上铣、钻任意角度的工件和加工6～18mm宽的直键槽，大大节省了生产成本和时间。完成X63W卧式铣床的修复和增加功能的改造，使该设备恢复了投产使用。

7. 节约能源成为设备管理中的主要环节

现代的世界事物中，能源已影响或危及政治、经济、文化等各个方面，许多企业在能源危机中倒闭。随着技术革命的发展，设备设计和制造的主要指标之一是节约能源。能源的消耗主要是设备，因此在现代设备管理中，节约能源这一特点也越来越明显和重要。

1.2.2 现代设备管理在现代企业中的地位

现代设备管理在企业管理中占有十分重要的地位，这不是一句空话、套话。在我们国家，特别是计划经济时代，设备管理的地位没有摆正，在领导心目中只有生产、产量重要，设备管理只是辅助性的，处于从属位置，并不是领导不懂设备管理的重要性，只是由于体制、短期行为所致。这样，设备管理的工作就比较难做，设备管理是救火队，维修人

员待遇较低，人员不安心，是被告，只有苦劳，没有功劳。但随着经济体制从计划经济转向市场经济，这种情况在慢慢转变，因为企业中的计划、质量、生产、技术、物资、能源和财务都与设备管理有着这样或那样的关联，具体如下。

1. 设备管理是工业生产顺利进行的前提

机器设备占工业企业固定资产总值 60%以上，是工业生产的物质技术基础。工业企业的劳动生产率不仅受工人技术水平和管理水平的影响，而且还取决于他们所使用的工具和设备的完善程度。设备的技术状态直接影响企业生产过程各环节之间的协调配合，如果不重视设备管理，设备保养不及时，短期内就能使设备生产效率降低或故障停机损失增加；长期失修，就会因设备的损耗得不到及时补偿而引起事故或提前报废，破坏生产的连续性和均衡性。尤其是现代工业企业自动化程度高，生产连续性强，劳动活动逐渐从依靠人的体力操作转为依靠设备的技术状况，一台关键设备停机就可以使整个企业停产。所以设备管理是工业企业生产顺利进行的前提。

2. 设备管理是提高企业经济效益的重要条件

随着生产的现代化发展，企业花在设备方面的费用(如：能源费、维修费、固定资产占用费、保险费等)越来越多，搞好设备的经济管理，提高设备技术水平和利用率，对降低成本意义也越大。另外，设备的技术状态影响企业的能耗、停产损失、产品质量、原材料消耗、产品消耗工时等，设备管理工作的成效通过设备的技术状态而影响产品成本。

据统计，20 世纪 50 年代建造的工厂，设备故障停产造成的损失为 1%，20 世纪 60 年代为 22%，20 世纪 70 年代上升到 37.5%，1980 年美国花在设备维修上的费用为 2460 亿美元，而同年全国税收只有 7500 亿美元，这说明设备费用占产品成本比例越来越大，降低这个费用对企业的经济效益有重大意义。

3. 设备管理是工业企业安全生产和环境保护的保证

工业生产中意外的设备和人身事故不仅扰乱了企业的生产秩序，同时也使国家和企业遭受重大的经济损失，因此在实际生产中怎样更加有效地预防设备事故，保证安全生产，减少人身伤亡已成为现代设备管理的一大课题。可以说一个工业企业发生的设备事故和人身事故的性质和次数能反映其设备管理工作的好坏。环境污染在一定程度上是由于生产设备落后，设备管理不善造成的。管理好处理三废的设备是搞好环境保护的先决条件，对其他设备的管理工作(如锅炉排烟、机床噪音等)也与环境保护直接相关。

4. 设备管理对技术进步，工业现代化起促进作用

科学技术进步的过程是劳动手段不断完善的过程，科学技术的新成就往往迅速地应用在设备上，如 19 世纪电动机的应用和现代计算机技术在设备控制上的应用等。所以，从某种意义上讲设备是科学技术的结晶。另一方面新型劳动手段的出现又进一步促进科学技术的发展，新工艺、新材料的应用，新产品的发展都靠新设备来保证。可见提高设备管理的科学性，加强在用设备的技术改造和更新，力求设备每次修理和更新都使设备在技术上有不同程度的进步，这对促进技术进步，实现工业现代化具有重要作用。

5. 设备管理是保证产品质量的基础工作

设备是影响产品质量的主要因素之一，产品质量直接受设备精度、性能、可靠性和耐

久性的影响，高质量的产品靠高质量的设备来获得。某些个别情况下，发挥操作者的技能可以在精度差的机器上加工出质量高的零件，但是往往质量不稳定，并且效率不高，不是最经济的加工方法。所以，搞好设备管理，保证设备处于良好技术状态也就是为生产出优质产品提供了物质上的必要条件。

由于技术进步，工人从笨重的体力劳动中逐渐解脱出来，生产活动的主体逐渐由人向设备转移，人的作用主要表现在制造、革新、运用生产工具方面，工业企业中直接参加生产操作的人员减少，而从事维修的人员比例越来越大，设备管理在企业中的地位日益突出。

1.3 设备管理的发展

1.3.1 设备管理与维修模式的发展

自人类使用机械以来就伴随着设备的管理工作。开始的管理仅仅是凭设备操作者个人的经验行事，随着工业生产发展和现代设备的出现才逐步发展到今天的一门独立的设备管理学科，人类走过漫长的历史，现在来回顾一下设备管理的发展历程。

1. 事后(管理)维修阶段

事后维修又可以称之为基于故障的维修。在资本主义工业生产刚刚开始时，由于设备简陋，修理便当，所有的设备一般都是在设备使用到出现故障后才进行修理，并且都是由有经验的操作工人自行修复，这就是事后维修制度。随着工业的生产发展，设备的结构越来越复杂，如汽车、发电机、压气机等修理的难度越来越大，技术要求也越来越高，越来越专业化，操作工人已经无法再兼顾维修工作，于是设备的修理逐步从生产中分离出来，维修工人也与生产工人分离，形成了独立的设备维修队伍，这样既便于管理，又有利于提高企业的生产效率。

事后维修能够较大限度地利用设备的零部件，提高了经济性。因此，关联度不高的设备通常采用事后维修模式。例如，现在的自行车、家用的一些电器设备；工厂里的一些非主要的生产设备，非生产设备等。

2. 预防维修阶段与计划预修制

预防维修即基于时间或工作量的维修，对设备管理与维修的要求有较高的设备有效度，较长的寿命周期，以及较低的费用。其技术特征是计划修理，管理系统中小型计算机的使用，维修计划与监控系统的建立。

由于事后维修使得设备因故障停机的时间过长，可能造成相关的设备无法正常使用。在社会化大生产和流水线作业的情况下，设备对生产的影响将越来越大，任何一台主要设备或主要生产环节出现故障，都将造成巨大的损失。所以，在这种情况下出现了为防止机器出现突发性故障而对设备进行预先检修的“预防性”修理模式，这就是预防维修模式。

预防维修制在国际上有两种体制共存，一个是以苏联为首的计划预修体制，另一个是以美国为首的预防维修体制。这两种体制的本质相同，都是以摩擦学为理论基础，但由于在形式和做法上有所不同，所以效果上有所差异。

计划预修体制是预防维修的一种，旨在通过计划对设备进行周期性的修理。其中包括按照设备和使用周期不同安排的大修、中修和小修。一般设备在出厂时其维修周期就已经确定下来了。这种体制的优点是可以非计划地停机，将潜在的故障消灭在萌芽状态；缺点是维修的经济性和设备保养的差异性考虑不够。由于是固定的计划，对设备的使用、维护、保养、负荷不够容易产生维修过剩或欠修。在 20 世纪 80 年代前，我国的工业受苏联的影响较大，也基本上采用这种体制。

预防维修制是通过周期性的检查、分析来制订维修计划的管理方法，也属于预防维修，都被西方国家采用。预防维修制对影响设备正常运行的故障采取“防患于未然”的措施，以减少停工损失和维修费用，降低生产成本，提高企业的经济效益为。具体的做法是定期对设备进行检查，对设备进行预防性维修。在故障处于萌芽状态时就加以控制或消除，以避免突发事故。预防维修制的优点在于可以减少非计划的故障停机，检查后的计划维修可以减少部分维修的盲目性；缺点是受检查手段和检查人员经验的影响较大，可能使检查失误，导致维修计划的不准确，造成维修过剩或欠修。

原苏联是以“计划预修制”为主导的设备管理体制。这一制度是从 1923 年至 1955 年经过 30 几年的不断实践与完善才逐渐形成的。计划预修制的全称是“设备的统一计划预修和使用制度”。为防止生产设备的意外故障，应按照预订的计划进行一系列预防性修理。其目的是保障设备正常运行和良好的生产能力，减少和避免设备因不正常的磨损、老化和腐蚀而造成损坏，延长设备使用寿命，充分发挥设备潜力。

计划预修制规定，设备在经过规定的开动时间以后要进行预防性的定期检查、调理和各类计划修理。在计划预修制中，各种不同设备的保养、修理周期、周期结构和间隔期是确定的。在这个规定的基础上组织实施预防性的定期检查、保养和修理。计划预修制是按照设备磨损规律而制定的，是在研究了设备磨损规律后逐渐形成的，设备磨损一般存在 3 个顺序阶段，即如图 1.13 所示设备磨损的 3 个阶段。

(1) 磨合阶段(AB 段)。此段即设备的初期使用阶段，这时设备零部件接触面磨损较为激烈，较快地消除表面加工原有的粗糙部分，形成最佳表面粗糙度。

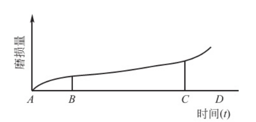


图 1.13　设备磨损的 3 个阶段

(2) 渐近磨损阶段(BC 段)。此段即是在一定的工作条件下，以相对恒定的速度磨损。

(3) 加剧磨损阶段(CD 段)。设备磨损到一定程度，磨损加剧以致影响设备正常运行。

按照以上显示的规律，设备维修的最佳选择点应该是在设备由渐近磨损转化为加剧磨损之前，即应选择在 C 点附近。从磨损规律上分析，计划预修制有其科学、合理的内容。按照计划预修制执行显然可以减少或避免设备故障的偶然性、意外性和自发性。计划预修制还可以大大减少意外故障停机造成的损失，减少因故障停机而增加的劳动量和维修费用。

计划预修制是以磨损规律为依据，也是长期实践经验的总结，优点：与传统的事后维修相比是一大进步，将故障隐患消灭在萌芽状态，避免大量严重故障或事故的发生，也减少了因事后维修造成的停机损失。

计划预修制的缺点：由于强调预防维修，按规定时间安排维修往往出现设备的劣化尚

未达到修理的程度或远远超过修理的程度，出现维修过剩或维修不足的情况；由于设备大修时要求全面恢复设备的技术状态、性能和精度，比较明显地存在维修过剩的现象；只注重专业维修人员的修理，忽视广大操作工人的参与，忽视设备的日常维护保养，设备使用部门与维修部门常常互不协调，甚至矛盾、对立，形成用设备的人不管设备，管设备的人不用设备的脱节现象；因为设备管理和修理计划的制订等一切都按预先的规定进行，不能确切地反映客观实际，经济和技术效果都不十分理想。

3. 设备系统管理阶段

随着科学技术的发展，尤其是宇宙开发技术的兴起，以及系统理论的普遍应用，1954年美国通用电气公司提出了“生产维修”的概念，强调的是系统管理设备，对关键设备采取重点维护政策，以提高企业的综合经济效益。主要内容有以下几方面。

(1) 对维修费用低的寿命性故障，且零部件易于更换的，采取定期更换策略。

(2) 对维修费用较高的偶发性故障，且零部件更换困难的，运用状态检测的方法，根据实际需要及时维修。

(3) 对维修费用十分昂贵的零部件应考虑无维修设计，消除故障根源，避免发生故障。

20世纪60年代末期，美国企业界又提出设备管理“后勤学”的观点，即从制造厂作为设备用户后勤支援的要求出发，强调对设备的系统管理。设备在设计阶段就必须考虑其可靠性、维修性及其必要的后勤支援方案。设备出厂后，要在图样资料、技术参数、检测手段、备件供应，以及人员培训方面为用户提供良好的、周到的服务，以使用户达到设备寿命周期费用最经济的目标。

日本首先在汽车工业和家电工业提出了可靠性和维修性观点，以及无维修设计和无故障设计的要求。至此，设备管理已从传统的维修管理转为重视先天设计和制造的系统管理，设备管理进入了一个新的阶段。

4. 设备综合管理阶段

体现设备综合管理思想的两个典型代表是“设备综合工程学”和“全员生产维修制”。

1971年，由英国提出的“设备综合工程学”，是以设备寿命周期费用最经济为管理目标的，即对设备进行综合管理，紧紧围绕以下方面内容展开工作。

(1) 以工业管理工程、运筹学、质量管理、价值工程等一系列工程技术方法，管好、用好、修好、经营好机器设备。对同等技术的设备认证进行价格、运转、维修费用、折旧、经济寿命等方面的计算和比较，把好经济效益关。建立和健全设备的管理体制，充分发挥人员、机器和备件的效益。

(2) 研究设备的可靠性与维修性。无论是新设备设计还是老设备改造，都必须重视设备的可靠性和维修性问题，因为提高可靠性和维修性可减少故障和维修作业时间，达到提高设备有效利用率的目的。

(3) 以设备的一生为研究对象和管理对象。运用系统工程的观点，将设备规划、设计、制造、安装、调试、使用、维修、改造、折旧和报废一生的全过程作为研究和管理对象。

(4) 促进设备工作循环过程的信息反馈。设备使用部门要将有关设备的运行记录和长期经验积累所发生的缺陷，提供给维修部门和设备生产厂家，以便他们综合掌握设备的技

术状况，进行必要的改造或在新设备设计时进行改造。

20 世纪 70 年代初期，在日本推行的“全员维修制”是一种全效率、全系统和全员参加的设备管理和维修制度。这种制度在前一节已做过阐述，在此就不再赘述。

在设备综合管理阶段，设备的维修方针是建立以操作工点检为基础的设备维修制；实行重点设备专门管理，避免过剩维修，定期检测设备的精度指标；注意维修记录和资料的统计与分析。

综合管理是设备现代化的重要标志。随着经济体制改革的不断深入和科学技术的不断进步，我国设备管理工作受到党和政府各级部门，以及工矿企业的高度重视，起步直追，并正朝着现代化的方向发展，主要表现如下。

(1) 设备管理由低水平向制度化、标准化、系列化和程序化发展。1987 年国务院正式颁布了《全民所有制工业交通企业设备管理条例》，使设备管理达到“四化”有了方向和依据。

(2) 由设备定期大小修、按期按时检修向预知检修、按需检修发展。状态检测技术、网络技术、计算机辅助管理在许多企业得到了应用。

(3) 由不讲究经济效益的纯维修型管理向修、管、用并重，追求设备一生最佳效益的综合型管理发展。实行设备目标管理，重视设备可靠性、维修性研究，加强设备投产前的前期管理和使用中的信息反馈，努力提高设备折旧、改造和更新单位决策水平，以及设备的总和经济效益。

(4) 由单一固定维修方式向多种维修方式、集中检修和联合检修发展。设备维修从企业内部走向了社会，从封闭式走向开放式、联合式，这是设备现代化的一个必然趋势。

(5) 由单纯行政管理向运用经济手段管理发展。随着经济承包责任制的推广，运用经济杠杆替代单靠行政命令，按章办事的设备管理方法正在大多数企业推行。

(6) 维修技术向新工艺、新材料、新工具和新技术发展。如喷涂、喷焊、堆焊、电刷镀、化学堵漏技术、废渣、废水利用新工艺防腐蚀新材料得到了广泛的应用。

1.3.2　我国设备管理的发展

在 1949 年前，由于我国的工业生产水平极端低下，设备管理还处在事后修理阶段；到了 20 世纪 50 年代，我国通过大规模的经济建设，使工业生产得到了迅速发展，特别是“第一个五年计划”期间，在前苏联援建的 156 项重点工程中，全面引进、照搬前苏联计划预修制。这对建立我国自己的维修体制起到了积极的推动作用，直到今天，我国的多数企业设备管理仍在采用计划预修制。

但是在 3 年“大跃进”期间，由于受“左”的思想影响，企业片面追求高指标，导致拼设备，维修力量削弱，管理制度废弃，设备失修，损坏严重，很多设备修理厂盲目转为制造厂等，使我国的设备管理体制遭受到了空前的破坏，设备预修体制的发展处于停滞状态。

3 年“大跃进”结束以后，由于“左”倾思想被纠正，我国的设备管理与维修工作在随后的 3 年调整期中得到了恢复和发展创新，不再盲目地照搬前苏联的设备管理方法。我国的设备管理根据我国的国情，在前苏联的“计划预修制”基础上，结合我国自己的特点，创造出了许多设备管理的好方法、好制度。如“三级保养”、“四项纪律”、“五项要求”、“专群结合、专管成线、群管成网”，对国民经济的恢复和发展起到了积极作用。

设备管理在我国有了更深层次的发展，然而设备管理发展的好景不长，在“十年内耗”时间里，我国的设备管理和维修工作遭到空前的破坏，制度被冲垮，维修人员改行、设备资料、档案丢失，设备管理瘫痪。造成设备管理体制再一次停滞不前。在粉碎“四人帮”以后，设备管理又得到了恢复、巩固和进一步的提高，开始大量引进国外设备管理的新方法。

从这时开始，在设备管理学术活动，我国开始蓬勃发展。1982 年 12 月，国家原经委召开了新中国成立以来第一次全国设备管理工作座谈会，成立了中国设备管理协会，1987 年 7 月 28 日国务院发布了《全民所有制工业交通企业设备管理条例》文件，从此，我国设备管理和维修工有了向正规化、科学化、理论系统化的一个良好开端，成立了“设备工程及管理专业”，我国的设备管理科学发展开始了现代化的征程。

1.3.3 我国现行的设备管理制度

1987 年国务院颁布的《全民所有制工业交通企业设备管理条例》(后简称《条例》)是设备管理的最高纲领性文件，是设备管理的宪法，使企业设备管理工作有法可依，有章可循。该条例的颁布使我国的设备管理工作向制度化、标准化发展，标志着我国的设备管理进入了依法治理的新阶段。各地区、各工业主管部门也在此条例的基础上相继制定了《设备管理条例》的实施细则及相应的管理制度和管理标准，使企业的设备管理走向了法治时代。

该《条例》有如下的特点，首先，它将以“设备综合工程学”为主的现代设备管理理论与我国设备管理改革成果融合在一起，具有鲜明的中国特色；其次是该《条例》贯穿了我国设备管理现代化的基本思路，使设备管理思想观念发生了根本性的转变。

我国现行的设备管理制度体现在《条例》中，即《条例》中重点阐述的“三条基本方针、五个结合、四项任务”。

三条基本方针是指设备管理的基本方针，即依靠技术进步，促进生产发展，预防为主。

五个结合是指设备管理的 5 个基本原则，它们分别是设计、制造与使用相结合；维护与计划检修相结合；修理、改造与更新相结合；专业管理与群众管理相结合；技术管理与经济管理相结合。

设备管理的四项任务是指保持设备完好；不断改善和提高企业技术装备素质；充分发挥设备效能；取得良好的投资效益。

1.3.4 设备管理的基础工作

设备管理最基本的、日常性的管理称为基础工作，包括两个大的方面：一个是设备资产管理，另一个是规章制度和考核指标管理。

设备资产管理是指企业应对设备资产寿命周期费用、安全、节能、环保性能作出更为全面、科学的综合评价；大型及成套设备的制造、安装应实行监理制，其购置则应进一步采用招标、投标制度；应该加强设备资产的经营管理，盘活闲置设备，提高其利用率，确保设备的投资效益。

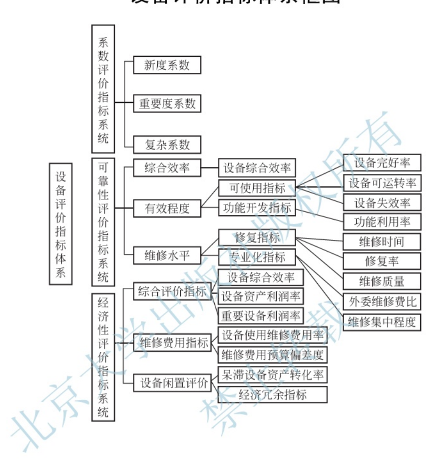
设备资产管理的主要内容有：设备的分类、编号和登记，精、大、稀设备的管理，重点设备管理，设备的封存、移装、闲置和报废管理，设备库存管理，设备档案管理，以及

备件、材料编号管理等。

设备管理的规章制度是指企业有关设备管理的各种规定、章程、制度、办法、标准、定额等，是管好、用好、修好设备的依据和标准，制定设备管理的规章制度应遵循《条例》和国家有关规定的精神，并结合企业实际情况，保证规章制度内容全面切实可行。

考核指标分为四类，一类为设备性能维护和发挥类指标；第二类为设备维护成本及生产损失类指标；第三类为维修组织管理类；最后一类为综合评价类指标。

设备评价指标体系框图



1.4　现代设备管理的内容

用现代化的理论来进行设备的综合管理是我国设备管理走向现代化的必经之路。所谓设备的现代化管理是指以提高设备的综合效率和实现设备周期费用达到最佳为目标，对设备的一生进行管理。

1. 现代设备管理内容

提高设备的综合效率就是充分利用和发挥企业现有设备的潜力，发展生产和搞好建设，以及增加设备的有效利用，提高企业的生产效率。在企业实际生产中，具体的措施常见的有以下几个：应用现代化技术开展技术革新；在保证质量的前提下缩短检修工期，减少停机损失，降低检修成本；积极清理并调剂、利用好空闲设备；用新工艺对旧件进行修复；提高综合利用，节约资金支出。

设备的一生管理是指设备从规划、设计制造到使用、修理、改造的全过程管理。它的

全过程管理都要以获得最佳的寿命周期费用为目标。

在现代设备一生管理过程中要注意与以下 5 个方面的相结合：制造和使用相结合；修理与改造、更新相结合；群众管理与专业技术队伍管理相结合；技术管理与经济管理相结合；日常维护与计划检修相结合。

2. 现代设备管理的任务

设备管理的主要任务是为企业的生产提供先进的技术装备，使企业的生产经营活动建立在技术先进、经济合理的物资技术基础上，提高企业的经济效益，保证企业经营目标的实现。

(1) 根据技术上先进、经济上合理的原则。正确选购设备，为企业提供优良的技术装备。

(2) 保证企业设备经常处于良好的技术状态。企业设备管理部门要认真研究设备寿命和设备故障规律，灵活采用相应的修理方法和手段，在节省维修费用的条件下，保证“在用设备台台完好，在修设备台台修好”，达到设备的综合效率最高。

(3) 提高设备管理的经济效益。按照经济规律的客观要求，加强对设备的经济管理，降低设备管理各环节的费用支出，以期设备的整个寿命周期费用最经济。

(4) 做好设备的更新与改造工作。要走集约型经济发展道路，设备更新与改造是企业扩大再生产的重要途径。有关部门必须协同工作，组织厂内外加工制造力量，挖掘企业潜力，依靠技术进步及时地做好设备的更新与改造，保证生产现代化水平的不断提高。

3. 现代设备管理的思想和管理方法

(1) 计划性维修：主要是以时间为依据，预先设定检修工作内容与周期性的定期检修，或称计划检修；维修管理，其思想是在严格的设备设计制造规范和完全计划形式的生产体制条件下，为预防设备的故障和事故损失，企业对设备采取强制性计划维修。

(2) 设备综合工程学：起源于英国，它以有形资产即设备的使用寿命为研究对象，强调发挥设备使用寿命各阶段机能的作用，以提高设备效率，使其设备寿命周期费用最少。

(3) 全员生产维护：起源于美国，为日本所量化并成为一种管理理念和企业文化。其原意是“全员参与的生产保全”，它将设备作为企业生产的核心，以减少生产准备时间、停机时间和废品率，并通过提高设备的生产能力追求最大限度地提高设备综合效率，体现企业的最佳经济效益。

(4) 以可靠性为中心的维修：起源于美国航空界。该方法是以各类故障模型为基础，以故障分析和状态监测为手段，以提高设备的可靠性为目标的设备管理方式，即在对元件的可能故障对整个系统可靠性影响评估的基础上决定维修计划的一种维修策略。它需要先建立一个设备故障模型，然后以预计的或观测到的实际系统性能为基础，对维修过程和活动进行控制。如可以通过分析预期实际系统或部件的失效跟踪该系统失效的发展趋势来描述系统的性能，以确定规划维修的有效性。

(5) 状态维修与综合设备管理：以设备当前的工作状况为依据，通过状态监测手段诊断设备健康状况从而确定设备是否需要检修或最佳检修时机。状态检修的目标是：以一定的技术和管理手段达到对设备状态的良好把握，从而使设备的维修达到最佳效果。

我国从 20 世纪 80 年代开始，吸收了上述理论和方法，提出了设备综合管理，即对设备生命周期的全过程从技术、经济和组织等方面进行综合研究和管理，以提高设备综合效率和设备生命周期费用的经济性为目标，减少停运(总检修)时间，提高设备可靠性

和可用系数，延长设备寿命，降低运行检修费用，改善设备运行性能，提高企业经济效益。

（6）企业设备资产管理信息系统：利用计算机对企业设备、资产、备件、维修工程进行管理的软件系统，实现企业资产管理信息化。从 20 世纪 80 年代初将计算机用于设备维修管理的 CMMS(计算机化的维护维修系统)到现代的 EAM，利用计算机进行设备管理经历了一个不断深入的过程。

一个优秀的企业设备资产管理系统应利用计算机及网络技术，结合各种先进的设备管理思想和方法，集成设备管理中各个业务层面的信息，量化和固化设备资产管理流程，形成动态的设备管理工作平台、经济技术分析平台和知识管理平台，利用对设备资产管理信息流的控制，使企业更有效地配置生产设备、人员及其他资源，提高设备可利用率及可靠性，控制维护及维修费用，延长设备生命周期，满足先进的生产设备对现代生产组织保障的要求。

1.5　现代设备管理的发展

1.5.1　现代设备现代化的特征

当代的设备技术进步飞快，分别朝着集成化、大型化、连续化、高速化、精密化、自动化、流程化、综合化、计算机化、超小型化、技术密集化的方向发展。先进的设备与落后的维修能力的矛盾将日益严重地困扰着企业，成为企业前进的障碍。一方面，要求企业增加设备的自诊断能力和可维修性，要求设备具有更高的可靠性，甚至引入无维修设计；另一方面，呼唤更良好的售后服务和社会化维修力量，减轻企业设备维修的负担。然而，这些目标的实现需要一个发展过程，一些矛盾解决了，新的矛盾又可能出现。例如自诊断系统出现了，自诊断系统的可靠性、准确性又可能成为企业所担忧的问题。有些企业甚至将过于敏感，经常造成误诊停机的自诊断系统拆掉，回到人工诊断阶段。

1.5.2　现代设备管理发展的新趋势

随着企业设备技术日益朝着自动化、大型化、连续化、精密化、柔性化等方向发展，先进的设备使得企业的生产操作工的数量在不断减少，而维护、维修任务和维护、维修人员的比重在不断增加；生产过程的操作复杂度逐渐下降，而维护、维修的技术含量不断上升，企业的资产密集度在不断增加。

在资产密集型企业，设备资产这一要素对企业生产运行和企业的发展起着至关重要的作用。资产密集型企业具有如下特点：在国家经济结构中发挥重要作用，影响着国家经济命脉；设备资产的安全可靠运行是保障生产完成的核心；在保证原料投入的情况下，生产量取决于设备本身的性能；资产高度密集，设备资产成本在总生产成本比重较大；设备技术含量和自动化程度高。

从设备管理的发展历史出发，结合现代机械制造、设备故障检测、可靠性工程，以及现代管理科学的发展和信息化的时代要求，对设备管理的趋势进行了分析，在此基础上提出了设备管理科学化的发展方向。随着工业化、经济全球化、信息化的发展，机械制造、

自动控制、可靠性工程及管理科学出现了新的突破，使现代设备的科学管理出现了新的趋势，把握这一新趋势对于加强我国设备管理的现代化和科学化具有重要的现实意义。这一新趋势主要表现在以下方面。

1. 设备管理信息化趋势

管理信息化是以发达的信息技术和发达的信息设备为物质基础对管理流程进行重组和再造，使管理技术和信息技术全面融合，实现管理过程自动化、数字化、智能化的全过程。现代设备管理的信息化应该是以丰富、发达的全面管理信息为基础，通过先进的计算机和通信设备及网络技术设备，充分利用社会信息服务体系和信息服务业务为设备管理服务。设备管理的信息化是现代社会发展的必然。

设备管理信息化趋势的实质是对设备实施全面的信息管理，主要表现在以下方面。

1）设备投资评价的信息化

企业在投资决策时一定要进行全面的技术经济评价，设备管理的信息化为设备的投资评价提供了一种高效可靠的途径。通过设备管理信息系统的数据库获得投资多方案决策所需的统计信息及技术经济分析信息，为设备投资提供全面、客观的依据，从而保证设备投资决策的科学化。

2）设备经济效益和社会效益评价的信息化

由于设备使用效益的评价工作量过于庞大，很多企业都不做这方面的工作。设备信息系统的构建可以积累设备使用的有关经济效益和社会效益评价的信息，利用计算机能够短时间内对大量信息进行处理，提高设备效益评价的效率，为设备的有效运行提供科学的监控手段。

3）设备使用的信息化

信息化管理使得设备使用的各种信息的记录更加容易和全面，这些使用信息可以通过设备制造商的客户关系管理反馈给设备制造厂家，提高机器设备的实用性、经济性和可靠性。同时设备使用者通过对这些信息的分享和交流，有利于强化设备的管理和使用。

2. 设备维修社会化、专业化、网络化趋势

设备管理的社会化、专业化、网络化的实质是建立设备维修供应链，改变过去大而全、小而全的生产模式。随着生产规模化、集约化的发展，设备系统越来越复杂，技术含量也越来越高，维修保养需要各类专业技术和建立高效的维修保养体系才能保证设备的有效运行。传统的维修组织方式已经不能满足生产的要求，有必要建立一种社会化、专业化、网络化的维修体制。

设备维修的社会化、专业化、网络化可以提高设备的维修效率、减少设备使用单位备品配件的储存及维修人员，从而提高设备使用效率，降低资金占用。

3. 可靠性工程在设备管理中的应用趋势

现代设备的发展方向是：自动化、集成化。由于设备系统越来越复杂，对设备性能的要求也越来越高，因而势必提高对设备可靠性的要求。

可靠性是一门研究技术装备和系统质量指标变化规律的科学，并在研究的基础上制定能以最少的时间和费用保证所需的工作寿命和零故障率的方法。可靠性科学在预测系统的状态和行为的基础上建立选取最佳方案的理论，保证所要求的可靠性水平。

可靠性标志着机器在其整个使用周期内保持所需质量指标的性能。不可靠的设备显然不能有效工作，因为无论是由于个别零部件的损伤还是技术性能降到允许水平以下而造成停机都会带来巨大的损失，甚至灾难性后果。

可靠性工程通过研究设备的初始参数在使用过程中的变化预测设备的行为和工作状态，进而估计设备在使用条件下的可靠性，从而避免设备意外停止作业造成重大损失和灾难性事故。

4. 状态监测和故障诊断技术的应用趋势

设备状态监测技术是指通过将监测设备或生产系统的温度、压力、流量、振动、噪声、润滑油黏度、消耗量等各种参数与设备生产厂家的数据相对比，分析设备运行的好坏，对机组故障作早期预测、分析诊断与排除，将事故消灭在萌芽状态，降低设备故障停机时间，提高设备运行可靠性，延长机组运行周期。

设备故障诊断技术是一种了解和掌握设备在使用过程中的状态，确定其整体或局部是否正常或异常，早期发现故障及其原因，并能预报故障发展趋势的技术。

随着科学技术与生产的发展，机械设备工作强度不断增大，生产效率、自动化程度越来越高，同时设备更加复杂，各部分的关联越加密切，往往某处微小故障就会引发连锁反应，导致整个设备乃至与设备有关的环境遭受灾难性的毁坏，不仅造成巨大的经济损失，而且会危及人身安全，后果极为严重。采用设备状态监测技术和故障诊断技术就可以事先发现故障，避免发生较大的经济损失和事故。

这一技术的应用深刻地改变了原有的维修体制，节省了大量维修费用。长期以来，我国对机械设备主要采用计划维修，常常不该修的修了，不仅费时花钱，而且降低了设备的工作性能；该修的又没修，不仅降低设备寿命，而且导致事故。采用故障诊断技术后，可以变“事后维修”为“事前维修”，变“计划维修”为“预知维修”。

5. 从定期维修向预知维修转变的趋势

设备的预知维修管理是现代设备科学管理发展的方向，减少了设备故障，降低了设备维修成本，防止了生产设备的意外损坏，通过状态监测技术和故障诊断技术，在设备正常运行的情况下进行设备整体维修和保养。在工业生产中，通过预知维修降低事故率，使设备在最佳状态下正常运转，这是保证生产按预订计划完成的必要条件，也是提高企业经济效益的有效途径。

预知维修的发展是和设备管理的信息化、设备状态监测技术、故障诊断技术的发展密切相关的，预知维修需要的大量信息是由设备管理信息系统提供的，通过对设备的状态监侧，得到关于设备或生产系统的温度、压力、流量、振动、噪声、润滑油黏度、消耗量等各种参数，由专家对系统的各种参数进行分析，进而实现对设备的预知维修。

以上设备管理的新趋势是和当前社会生产的技术经济特点相适应的，这些新趋势带来了设备管理水平的提升。

现代设备管理的几个发展趋势并不是相互孤立的，它们之间相互依存、相互促进：信息化在设备管理中的应用可以促进设备维修的专业化、社会化；预知维修又离不开设备的故障诊断技术和可靠性工程；设备维修的专业化又促进了故障诊断技术、可靠性工程的研究和应用。

思　考　题

1. 现代设备的特征是什么?
2. 设备寿命周期理论的内容是什么?
3. 简述设备管理与维修的发展历程。
4. 设备一生管理要注意与哪几个方面相结合?



第 2 章
现代设备的经济规划与投资预测



知识要点	掌握程度	相关知识	应用方向
现代设备的经济规划与投资评价	熟练掌握	现代设备投资评价的意义、内容、依据，设备投资评价的步骤和方法	了解投资评价的基本知识，结合现代化设备投资评价方法，做好设备规划的制定
设备合理使用期	了解	设备最佳使用年限，设备低劣化程度估算法，成本模型法	了解设备经济评价方法，从量上为投资预测做准备
设备的投资预测和设备规划的可行性分析	掌握方法	设备投资影响因素分析方法，设备可行性研究的步骤和指标体系	掌握设备规划的可行性分析方法和步骤
重大设备投资项目的呈报和审批	了解	设备投资项目呈报主要内容和设备投资预算外追加	重大设备投资项目可行性报告的呈报



已知某一型号MP3产品的单位售价为200元。单位产品的制造成本：材料费及外购成件费100元，工人工资20元，每年设备费用160000元，单位产品可变费用10元；销售产品时每年需要固定费用12000元，单位产品可变费用5元。

(1) 利用设备投资预测的盈亏平衡分析方法求该产品的盈亏平衡点X_0。

(2) 该项设备欲创造利润50万元，其产品总产量为多少？

通常来说，对设备一生实施的管理可以分为两个不同的阶段，即设备的前期管理和后期管理。前期管理称为规划工程，内容涉及设备的规划、筹措、安装及试运转；后者又可称为维修工程，涵盖从设备使用、维修、改造、更新直至退役后再利用等诸多环节的管理。就我国目前的实际而言，对设备实施一生全过程的管理还很难成为现实，因为设计部门、制造厂家及使用设备的企业在各自不同目标的协调还不具备渠道外，设备管理的重点主要在从设备规划到退役这一漫长的过程。在这一前提下，设备的前期管理就是设备用户在规划设备时的投资决策及筹措、安装、试运转的过程，搞好这一工程的管理将为设备投入使用直至报废的后期管理创造良好的条件。

2.1　现代设备的经济规划

设备规划是设备整个寿命周期过程中的初始阶段。在这一阶段中，企业决策者应从两方面选择所需的设备方案：一是设备实物形态的性能和结构方案，即技术方案；二是设备固定资金运动形态的投资方案，即经济方案，并使这两方面相互协调。方案的选择是为了使设备系统更好地适应企业系统环境。

新建企业必须做设备规划，这点是众所周知的，但是企业在运行过程中也要做设备规划，这一点经常被企业所忽视。在运行过程中企业要做设备规划的原因具体有以下几点：首先是时间变化，随着时间的变化，企业各系统的状态可能改变，比如：人员可能进行调整、操作者的水平可能提高或者降低；其次是物质条件的变化，比如：资金短缺、企业财务出现紊乱；再次是受市场因素的干扰、市场竞争等因素的影响都迫使企业必须对设备系统作调整和改造。所以说，设备规划是企业经济管理的一项经常性的工作，仅在一个生产循环中可以认为它是初始阶段，而整个不断反复循环的再生产过程中，设备规划贯穿于企业管理始终。

随着科学技术的发展，企业为了追求更大的效益，生产规模越来越大，所用的设备日趋于大型化、精密化、复杂化，固定资产所占的比重也在日益增大，设备的使用维修费用在产品成本中占了很大的份额。因此，设备规划在企业技术上显得至关重要。

2.1.1　设备规划的内容

设备规划是指根据企业经营方针、目标，考虑生产发展和市场需求、科研、新产品开发、节能、安全、环保等方面的需要，通过调查研究，进行技术经济的可行性分析，并结合现有设备的能力、资金来源等综合平衡，以及根据企业更新、改造计划等而制订的企业

中长期设备投资的计划。它是企业生产发展的重要保证和生产经营总体规划的重要组成部分。企业设备规划即设备投资规划，是企业中、长期生产经营发展规划的重要组成部分。制订和执行设备规划对企业新技术、新工艺的应用，产品质量的提高，扩大再生产，设备更新计划，以及其他技术措施的实施起着促进和保证作用。

设备规划主要包括企业新增设备规划和企业现有设备的更新改造规划两大部分。

对于设备规划来说，企业的目标是决定性的因素企业目标包括：产品的生产目标和企业的利润目标。这里既包括了绝对产量(产量、产值、利润等)，也包括了相对量(生产率、资金利润等)，并且以此为依据去决定设备的工艺方法、设备种类、型号、数量、可靠性、维修方式、改造和更新等技术方案，以及设备的投资、折旧、经济寿命、更新决策等经济方案。

由于影响设备状况的因素较多，一般来说任何一个企业目标都不会只有唯一的设备方案，因此在设备规划阶段应进行各种方案的技术经济评比，选择最优的方案。调查研究、方案罗列、评比及优化、方案的决策及实施，以及在实施中继续修改和完善方案，这就是设备规划的一般过程。可行性研究报告就是反映这一过程的文件形式，它是整个企业投资项目可行性研究的一个重要组成部分。

2.1.2　设备投资评价的依据

对设备投资进行评价，其目的在于从价值形态的角度论证和优选设备投资方案。这种论证和优选的基本宗旨是追求尽可能高的设备投资效益。然而效益的大小可能随不同的决策人员站在范围大小不同的系统立场上而有所不同。因此，国家、部门与企业之间效益存在不一致问题。国家机关考虑的通常是投资的全社会效益，而主管部、委通常考虑的是企业集团或行业的综合效益，只有企业管理人员是从企业自身的最大效益出发来评价设备投资方案的。在我国，解决国家、部门与企业之间效益不一致的问题时，要强调总体利益高于局部利益这个原则。

为此，可以将设备投资评价划分为企业外和企业内两个层次。企业外的问题就是解决企业与外部环境的适应性，包括企业与市场、企业与所属部门及其他单位的关系。企业内的问题则是解决企业系统本身在技术上和经济上结构的合理性，包括企业的投资效益、资金周转、利润分配、设备投资和更新的远景规划等。

现在就对企业经营管理常常需要进行考虑的几个问题加以阐述，以作为在设备投资评价的一些依据。

1. 市场预测

市场预测是投资决策的原始依据。购置设备的目的是生产产品，所以设备选择是否适当、是否具有生命力首先要通过产品的市场预测才能做出判断。人们仅仅从技术上研讨设备对产品的适应性还是不够的，因为没有触及企业经营的本质。

用某种设备生产的产品是否适应市场的需求，市场的需求量为多大，持久性如何，这些问题初步指明了办企业的前景，也是设备投资的前景。设备投资的可能性、投资规模、预计投资回收期等主要取决于这几个问题所提供的参考信息。同时，产品售价上下浮动的幅度预测与相同功能的其他企业或设备所做的技术经济比较也是十分重要的。竞争机制的建立将迫使企业的决策者们对市场预测予以重视。

企业除了预测产品的销售市场外，还需要了解人员、物资供应等状况，即投入的因素也要有市场。如果劳动力、原料、能源、资金等市场发生短缺，那么设备投资问题还是不能被解决。

对于市场预测的结果不但要定性化，还要定量化。在设备投资决策阶段，企业做出的上述输入和输出等诸多因素的市场预测只可能是粗略的。因为影响市场的因素很多，通常不能用一些确切的数学公式来表达产品、劳动力、物质、资金等因素与时间的函数关系。

从市场的持续性来说，可以将市场划分为稳定市场和临时市场两大类。显然，两种市场给设备投资带来的风险是不一样的。对于投资额大、产品批量大、人力物力大的情况应以稳定市场预测为依据，即产品可能持续稳定进行销售的预计稳定期作为选择设备寿命、可靠度、种类和型号，以及折旧率和更新改造的计算基础。对于投资额较小、市场状况不明确的情况，通常选择多功能的通用设备或寿命周期不长的专用设备。前者采用较低的折旧率，后者采用较高的折旧率，以缩短回收期，减小风险损失。

2. 年度投资预算

设备投资受到企业年度投资预算的制约，因为设备投资只能是企业年度投资预算的一部分，此外还必须考虑土地、建筑物，以及其他投资项目的投资，并保留一笔不可预见的准备费。

设备投资的费用有两个来源：一是利用企业的折旧基金进行更新改造；另一个是企业追加的设备添置专款。当工艺过程不发生变化时，不一定要购置一种与原设备完全相同的新设备，可使用折旧基金对老设备进行更新改造。

所谓固定资金并不是指它的价值量没有改变，在再生产中有所追加，表现为用新设备更换旧设备，或对原设备进行技术改造。企业每年能够拿出多少费用来对设备进行这种价值追加取决于企业的发展战略。

如果市场预测结果认为老产品还有生命力，或扩大批量，或发展系列产品，此时对设备继续投资是必要的。投资项目通常选择设备系统中的薄弱环节，即那些磨损严重、负荷大或在设备系统中比较重要的机械设备。所以，设备管理人员应将更多的注意力放在对生产起关键作用的那些主要设备上。

设备规划工作则是一种经常性的管理内容。有些价值昂贵的主设备更换改造，其一次性的投资可能超出了企业年度预算可供设备投资的能力，这时可利用专项借款的办法来筹措。勉强地挪用流动资金来搞设备购置，或不适当地追加设备投资纳入企业的不可预见费，都会给企业带来管理上的混乱。

3. 折旧政策

所谓折旧就是在产品成本中分摊提取固定资产的价值，予以回收。因此，为企业中各类设备规定合理的折旧率是制定折旧政策的关键。关于折旧，本书将在以后的章节进行叙述。

在设备投资评价中，折旧政策是个重要因素。折旧率一旦确定就不要随意更改，以免造成财务上的混乱。另外，折旧费不作为现金流入或流出，因为它本质上是过去已经创造的价值物化到固定资产上的，而不是现阶段生产过程中的一种创造或增值。当折旧期终止后，设备可能继续在运转，其账面价值已经销去了，但这时也绝非无偿地使用设备，因为设备使用的其他项目和维修费仍然存在。

由于设备的自然寿命通常大于它的折旧期，所以在折旧终了时它的使用价值依然存

在。同一台旧设备，在这家企业可能已认为没有使用价值了，要更新改造了，但在另一家企业它可能还可以继续发挥作用。因此，国家从社会的整体效益出发，要注意指导旧设备的转让问题，将一些因为磨损而降低准确度、生产率的旧设备转售给生产低层次产品的企业，这对于双方企业都是有益的。例如，国有企业的旧设备转让给乡镇企业，这就是物尽其用的最好实例。

国家要为国内企业的固定资产规定折旧办法和框定大致的折旧期限。同样，企业要为旧设备转让制定合理的折旧政策。在技术条件允许的情况下，采取旧设备转让的方式可以实现全社会范围内设备配置的调整，重新布局生产力，提高经济效益。

根据固定资产的自然属性和耐用程度，对企业的固定资产划分为 5 类，相应规定了最短折旧年限如下。

(1) 房屋、建筑物，为 20 年。

(2) 飞机、火车、轮船、机器、机械和其他生产设备，为 10 年。

(3) 与生产经营活动有关的器具、工具、家具等，为 5 年。

(4) 飞机、火车、轮船以外的运输工具，为 4 年。

(5) 电子设备，为 3 年。

按照税法规定，机器设备折旧年限不少于 10 年，机器设备分类 如下。

(1) 供电系统设备，15～20 年。

(2) 供热系统设备，11～18 年。

(3) 中央空调设备，10～20 年。

(4) 通讯设备，8～10 年。

(5) 洗涤设备，5—10 年。

(6) 维修设备，10 年。

(7) 厨房用具设备，5～10 年。

(8) 电子计算机系统设备，6～10 年。

(9) 电梯，10 年。

(10) 相片冲印设备，8～10 年。

(11) 复印、打字设备，3～8 年。

(12) 其他机器设备，10 年。

4. 国家财政措施

国家政策对于固定资产投资起着重要的作用，不论是资本主义还是社会主义国家都要通过它的政策来指导和干预设备预案。其主要手段有以下 3 个方面。

(1) 实行合理的税收制度和税率。国家用税收的形式对企业投资进行间接控制，在宏观上指导投资方向。比如：为抑制某些行业而采取高税率，为扶植边穷地区而实行税收减免政策等。

(2) 规定某些强制性的折旧政策。根据科学技术的发展趋势和具体的形式，用不同的折旧率来控制设备的投资过程。例如，我国部委曾公布淘汰产品的目录，禁止再行生产。美国政府在里根执政期间也对税率和设备折旧率有强制性的规定，为振兴美国工业创造了有利的条件。

(3) 银行的干预和监督。国家通过中央银行和各种专业银行对设备投资的资金信贷进

行干预和监督。

总之，在企业进行设备投资评价时，对上述的背景材料必须有一个充分的了解，它反映了社会、环境对于公司、企业投资行为的一种制约能力。企业必须在这个大系统中生存发展，任何公司和企业都是无法回避的。

2.1.3　设备投资规划应预估的内容

进行设备投资方案的评价不仅仅涉及设备本身的购置价格。从设备系统工程的观点来看，设备规划工作者要对下列有关的各项费用和数据有一明确的了解，以便于对每一种投资方案所引出的一系列不相同的资金支出进行量化。所涉及的项目如下。

(1) 固定资产支出项目：包括征地费、勘测费、场地清理费、配套建筑物设施费、动力设备费、设备基础费、机械设备购置费、安装费、设备运输费、工具夹具费、人员管理设施费、研究开发设计费、技术咨询专利费等。

(2) 有关流动资金支出项目：备件库存及费用、在制品价值、协作委托应收之的费用。

(3) 旧设备的残值及清理费用：在设备进行更新时，对于残值的处理一般是作为当年的一项收入计入现金流量的。但此项目收入必须在实现其价值(如转让、拆装、修旧利废等用途)之后才可以计入，同时还必须减去其清理费用。

2.1.4　设备规划的制订

1. 编制设备规划的依据

编制设备规划的主要依据有：生产经营发展的要求；设备的技术状况；国家政策(节能、节材)的要求；国家劳动安全和环境保护法规的要求；国内外新型设备发展和科技信息；可筹集用于设备投资的资金。

2. 设备规划的编制程序

设备规划就是按上述依据，通过初步的技术经济分析来确定设备改造、更新和新增规划的项目及进度计划。设备规划的编制应在厂级领导的领导下，由设备管理部门负责，自上而下地进行编制，编制程序如下。

首先，由设备使用部门、工艺部门和设备管理部门根据企业经营发展规划的要求，提出设备规划的项目申请表。对设备规划项目必须进行初步的经济分析，从几个可行方案中选出最佳方案。

其次，由规划部门汇总各部门的项目申请表。进行综合平衡，提出企业经济效益和社会效益最佳的设备规划方案，送交计划、设计、工业、质量、设备、环保、财务、劳动教育、生产等部门会审。

最后，由规划部门根据会审意见修改规划方案，编制设备规划，经主管副厂长或总工程师审查后报厂长批准。

2.1.5　设备的运行管理

1. 设备资产管理

设备资产是企业固定资产的重要组成部分，是进行生产的技术物质基础。设备在购进

后，财务部门就将设备纳入企业的固定资产。要做好设备资产管理需要包括设备管理部门、使用部门和财务部门各个部门的同心协力和互相配合。设备管理部门负责设备资产的验收、编号、维修、改造、移装、调拨出租、清查盘点、报废清理、更新等管理工作；使用单位负责设备资产的正确使用、妥善保管和精心维护，并对其保持完好和有效利用直接负责；财务部门负责组织制定固定资产管理责任制度相应的凭证审查手续，并协助各部门做好固定资产的核算和评估工作。设备资产管理的主要内容包括设备的分类与资产的编号、重点设备的划分与管理、设备资产管理基础资料的管理、设备资产变动的管理、设备的库存管理、设备资产的评估。

2. 设备的磨损

设备在使用和闲置过程中会发生两种形式的磨损：一种是有形磨损，亦称物质磨损或物质损耗；一种是无形磨损，亦称精神磨损或经济磨损，这两种磨损都会造成经济损失。为了减少设备磨损，在设备磨损后及时进行补偿，就必须弄清产生磨损的原因和磨损规律，根据设备不同的磨损形式采取不同的措施和补偿磨损的形式，提高设备的可利用率。

3. 设备的使用、润滑和维护

从设备的有形磨损及其发生规律可知，正常磨损期越长，说明零部件的使用寿命越长，就可以减少更换或修复的次数和停机时间，提高设备的可利用率。为了使设备得到合理使用，必须从企业产品的工艺特点和实际需要配备设备出发，使设备的布局合理、协调，并依据各类设备的性能、承荷能力及技术特性进行生产工作安排。此外，必须为设备配备合格的操作者，制定设备使用和维护的一系列规章制度并严格执行。客观环境包括必要的防护措施和防潮、防腐、防尘措施等，且必须能够保证设备充分发挥效能。在设备的使用管理方面，依据以上基本条件，对设备使用的全过程(从安装调试合格进入正常使用直到设备退出生产)的组织、管理、监督，以及采取其他必要的措施，使设备能够减少磨损，保持其应有的精度和性能，并经常处于良好的技术状态，获得最佳的经济效果。

4. 设备的维修

维修管理(图 2.1)是组织各种维修资源，例如，人工、材料、工具，以及通过运用不同技术所得到的信息，维持设备运行在一个可接受的标准上，维修管理的目的是通过有效地决策维修工作的内容和频度，以达到减少修复过程中内在不确定性。维修管理因其技术性对生产及产品成本有巨大影响，同时维修前的备件工作也极大地影响着维修效率，进而影响企业生产效率，因此设备维修是保证企业正常运行，获取利润的非常重要的环节。图 2.2 所示为对设备进行维修管理的主要记录。



图 2.1　设备现场维修

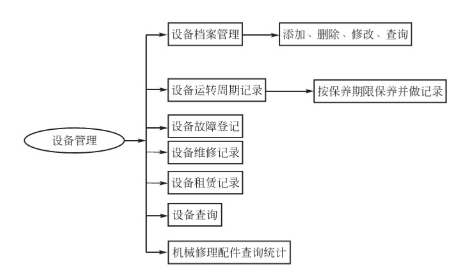


图 2.2　设备维修管理的记录

2.1.6　设备投资的经济评价方法

设备投资的经济评价方法分为静态计算法和动态计算法两类。在暂时不计资金的时值问题，缺乏关于整个寿命周期各项费用的依据时，从简便、直观和容易掌握的要求出发，方案的初步评价时应用静态方法。反之，为了作出比较精确的费用估计，则必须从资金与时间的关系出发，以寿命周期全过程为时间范围进行动态的计算方法。

1. 静态经济评价方法

(1) 简单投资收益率。设备安装使用后达到正常水平的年份称为“达产年”。简单投资收益率是达产年份的净收益与初期投资(包含设备投资和流动资金)的比值

$$R=(F+Y+D)/I\times100\% \tag{2-1}$$

式中，R——全部投资收益率；

F——达产年份的销售利润；

Y——达产年份的贷款利息；

D——折旧费；

I——总投资（设备投资和流动资金之和）。

式(2-1)是根据投入产出计算效益的基本原理的：投产后的销售利润在数量上等于产品售价减去成本和税收。贷款利息是指设备折旧可能获得的利息。

(2) 静态投资回收期(返本期)。投资回收期与折旧期是两个含义不同的时间概念。回收期又叫返本期，在此期间，设备开始投入生产，一切与设备使用有关的支出费用都从产品销售的税后纯利润中得到了补偿。设回收期为 t 年，则

$$I=\sum_{i=0}^{t}(S-C'-T)_i \tag{2-2}$$

式中，I——关于此项设备的总投资；

S——年销售收入；

C'——不包括折旧在内的年经营成本；

T——税金；

i——从起始计算到回收期为 t 年的年份。

回收期是指净现金流量累计总额与总投资相抵(即总流入与总流出达到平衡)时的时间间隔。净现金流量的累计值等于零或出现正值的年份便是设备投资回收期的最终年份。不足一整年的部分可以用上年累计净现金流量的绝对值除以当年的现金流量求出。

从现金流量表上看时，式(2-2)可写成

投资回收期＝净现金流量的累计值出现正值的年份＋上年累计净现金流量的绝对值/当年净现金流量　(2-3)

【例2-1】 某设备项目总投资费用为2万元，投资回收期若从项目建设期算起，该设备第3年投产。每年折旧费1600元，投资开始，各年之净利润、收益，以及未收回投资的金额见表2-1。

表2-1　投资回收期计算表　(单位：元)

	年份	净利润＋折旧		收益	未收回投资金额
建设期	1	0	0	0	20000
	2	0	0	0	20000
投产期	3	－300(亏损)	1600	1300	18700
	4	1600	1600	3200	15500
	5	3500	1600	5100	10400
	6	4200	1600	5800	4600
	7	4200	1600	5800	－1200

从表2-1中可见，第3年投产时利润为负值，意味着初期亏损。全部投资的绝大部分已于第6年末收回，尚余4600元，第7年收益大于此数，故此设备的回收期为

$$t=(6+4600/5800)\text{年}=6.79\text{年}\approx 6.8\text{年}$$

在对投资做粗略评价时，可用年平均利润与固定资产折旧费之和作为年现金流入量，则投资回收期为

$$t=\text{总投资额}/\text{年现金流入量} \tag{2-4}$$

如用上例中的数据，年现金流入量等于3028.5元，由式(2-4)计算，回收期 $t=$ 6.63年。

2. 动态经济评价方法

(1) 动态投资回收期。在考虑资金的时间因素的条件下，对于静态投资回收期进行修正，其方法是在每个年份的各种资金数额上乘以当年的折现系数。即

$$P(I)=\sum(S-C-T)_i\alpha_i \tag{2-5}$$

式中，$P(I)$——关于此项设备投资总额的现值；

α_i——第 i 年的折现系数，$\alpha_i=(1+r)^{-i}$；

r——基准收益率或预计的折现率。

其他的参数含义同式(2-2)。同样，利用制作现金流量表的方法可以求出动态回收期。

【例 2-2】 设：折现率 $r=10\%$，其余条件同【例 2-1】，按式(2-5)计算，动态回收期计算见表 2-2，求出动态回收期。

在表 2-2 中，累计净现金流量现值出现正值的年份为第 6 年，数值为 2596.11 元，对第 7 年净现金流量现值为 2976.56 元，于是动态回收期 t 为：

$t=(6+2596.11/2976.56)$年$=6.87$年$=6.9$年。

从【例 2-1】、【例 2-2】中可见，在资金为正值的情况下，动态投资回收期与静态投资回收期是有差别的。折现率 r 越大，这种差别也就越大。当 $r=0$ 时，动态投资回收期与静态投资回收期之间就不存在差异了。

表 2-2　动态回收期计算表　　　　（单位：元）

	年份	α_i	净利润 a		折旧 b		收益折现值 c	末收回资金 d
		$(1+r)^{-i}$	当年值	折现值	当年值	折现值	$a+b=c$	累计末收回资金折现$-c$
建设期	1	0.9091	0	0	0	0	0	20000×0.9091=18182
	2	0.8264	0	0	0	0	0	20000×0.8264=16528
投产期	3	0.7513	−300	−255.39	1600	1202.08	976.69	15025.45−976.69=14048.76
	4	0.6830	1600	1092.80	1600	1092.80	2185.60	10586.00
	5	0.6209	3500	2173.15	1600	903.04	3273.94	6457.05
	6	0.5645	4200	2370.49	1600	903.04	3273.94	2596.11
	7	0.5132	4200	2155.44	1600	821.12	2976.56	−616.16
	8	0.4665	4200	1959.29	1600	746.40	2705.69	

(2) 净现值法(NPV)。净现值是反应设备投资后在整个建设和投产年限内的获利能力的动态指标。它将各年度发生的净现金流量(现金流入和流出之差)按照一定的折现率或基准收益率折现到基准年的所有净现值之和。通常取设备投资开始执行的年份为基准年。

即

$$NPV=\sum_{i=0}^{n}(CI-CO)_i\alpha_i \qquad (2-6)$$

式中，CI——现金流入；

CO——现金流出；

$(CI-CO)_i$——第 i 年的净现金流量；

α_i——第 i 年的折现系数；

n——设备开始投资至使用期末的年限综合。

NPV 可通过现金流量表的现值计算来得到。当 $NPV>0$ 时，表明企业除取得按折现率得到的投资收益外，还得到一笔等于 NPV 的现值收益。当 $NPV=0$ 时，则投资方案的收益率和折现率相等。当 $NPV<0$ 时，表明企业的投资收益率低于折现率，但并非说投资无利可图。所以，在多方案评比中可选择 NPV 的数值较大者为优先的方案。

(3) 净现值比率法($NPVR$)。为了考评效益的相对大小，设净现值与总投资现值之比为净现值比率，即单位投资现值的净现值。

$$NPVR=NPV/P(I) \qquad (2-7)$$

只有在 $NPVR \geqslant 0$ 时方案才可取。当对两个方案作评价时，选取 $NPVR$ 较大的方案。

（4）费用效益分析法（CBA）。在静态经济评价方法中，虽然也从投入产出的角度来研究投资效益，但那是不全面的。我们在给出简单投资收益率这个概念时只考虑了设备的初期投资，在效果方面也是只考虑了设备达到达产年份的产品产出的净收益。为了避免上述缺陷，最好的方法就是考虑整个寿命周期的投入和产出，即以寿命周期费用为投入的度量，并以这个时期的产品总量作为它的效益或产出的度量。以此得出设备的寿命周期费用效益的概念。

$$\text{绝对费用效益} = \text{产品效益} - \text{寿命周期费用} \tag{2-8}$$

$$\text{相对费用效益} = \text{绝对费用效益}/\text{寿命周期费用} \tag{2-9}$$

费用效益分析是对设备方案进行技术经济分析中的一个十分重要的综合指标。但在作设备投资规划方案时，由于存在许多不可预测的因素，使我们无法将这种分析计算做得很精确，仍然只有大概预算的性质。

2.2　设备合理使用期的估算

在规划、选择设备方案时，不可避免地要提出这样一些问题：一台设备究竟使用多少年才是最理想的。这个问题在设备管理中显得尤为重要。它将影响到折旧率、改造更新、使用维护费、费用效益、造价、寿命周期费用等一系列的设备经济指标。同时也影响到精度、性能、生产率、可靠性、修理方式、修理层次等一系列的技术指标。所以设备的合理使用年限的确立就显得尤为重要。为了确立设备的合理使用年限，首先介绍几个相关的概念。

设备的自然寿命也叫设备的使用寿命，是指自设备使用之日起，设备因物质形态的磨损而丧失功能所经历的时间。

设备的技术寿命是指自设备使用之日起，设备因别的某种相同功能的新设备出现而被淘汰所经历的时间。

设备的经济寿命也叫最佳更新期，是指从价值观点出发，设备从投入使用到它的经济效益地域性设备所经历的时间。

设备的合理使用期是指使用某种设备尚能获取利润的时间，这是不同于经济寿命的一个概念。

一般说来，设备的自然寿命大于经济寿命。只要设备的技术水平足够先进，其技术寿命就可以延续到设备的自然寿命。设备的工作者或管理人员更关心的无疑是设备的合理使用期。

2.2.1　设备最佳使用年限的估算

设备最佳使用年限是指设备每年使用费最少或设备在某个时间内单位时间的使用成本最低，一般有以下 3 种方法可以估算。

1. 设备低劣化程度估算法

由于设备的有形磨损和无形磨损，其使用费和维修费将逐年增加，这是设备状况低劣化的表现。

假设 K_0 为设备原值，ΔE 为低劣化数值，设备费用可以近似地认为随时间增长呈线性关系。那么第 T 年时，设备低劣化数值为 $\Delta E\times T$，T 年间，平均低劣化数值为 $\Delta E\times T/2$。因此每年的平均设备费用为

$$E=K_0/T+\Delta ET/2 \tag{2-10}$$

对 T 取导数，令 $\mathrm{d}E/\mathrm{d}T=0$ 得

$$\mathrm{d}E/\mathrm{d}T=\Delta E/2-K_0/T^2=0 \tag{2-11}$$

于是

$$T=\sqrt{2K_0/\Delta E} \tag{2-12}$$

T 就是每年使用费和维修费最少的使用年限。式(2-12)表明，设备原值越大，最佳使用期越长。低劣化数值越大，最佳使用期越短。式(2-12)的使用条件是规划人员必须从本企业或类似的企业中获得大量的经验和资料作出一个较为可靠的低劣化数值 ΔE，并在估算中不计设备的残值。该式为估算设备的使用年限提供了一个方法。

2. 成本模型法

从设备在单位时间 t 内的总成本 C 求单位时间内成本的最小值，将其对应的使用时间取为最佳使用年限。

假设设备原值 K_0 为恒值，而它的残值和使用维修费都是 t 的函数，则总成本的数学模型是

$$C=K_0-B(t)+\int_0^t W(t)\mathrm{d}t \tag{2-13}$$

式中，$B(t)$——设备在时间 t 时的残值；

$W(t)$——使用及维修成本。

由上式可得单位时间内的成本 c 为

$$c=C/t=K_0/t-B(t)/t+(1/t)+(1/t)\int^t W(t)\mathrm{d}t$$

令 $\mathrm{d}c/\mathrm{d}t=0$，则

$$K_0=tW(t)+B(t)-1-\int^t W(t)\mathrm{d}t \tag{2-14}$$

若 $B(t)>0$，则式(2-13)存在极小值，由此可得到最佳的使用年限 t。

【例 2-3】 某设备购置费为 50 万元，投入使用后残值按 $[25/(1+t)+10]$ 万元下降，维护费按$(6+4t)$万元上升，求设备多少年后更新为宜？

解： 设 t 年后更新，此间总费用

$$\begin{aligned}C&=50+\int_0^t(6+4t)\mathrm{d}t-[25/(1+t)+10]\\&=40-25/(1+t)+6t+2t^2\end{aligned}$$

每年费用为　$c=C/t=40/t-[25/(1+t)]+6t+2t^2$

求 c 的最小值令 $\mathrm{d}c/\mathrm{d}t=0$ 并满足 $B(t)>0$，即

$$-40/t^2+2-25\{[1/(1+t)]\times 1/(-t^2)+(1/t)[(-1)/(1+t)^2]\}=0$$

$$-40(1+t)^2+2t2(1+t)^2+25[1+t+t]=0$$

$$2t^4+4t^3-38t^2-30t-15=0$$

$$t=3.93\text{ 年}\approx 4\text{ 年}$$

3．由设备费用方程确定最佳使用年限法

在计算设备最佳使用年限时，如果手头缺乏设备低劣化的数据资料，或者当某种工作可有两种设备方案供选择时，可从长期使用某设备、每隔几年更新一次，使设备总费用最少的角度出发来计算最佳使用年限 n。

2.2.2　目标利润和设备的合理使用期

设备的合理使用期是根据企业系统的目的提出来的。企业购置设备进行生产，目的在于获利。因为利润是一切财富之源，设备的使用也应该同利润情况联系起来。设备的合理使用期就是它生产的产品在销售中还能获得利润的时间界限。排除独家生产、独家经营的特殊情况(这种情况下企业总能维持它获利的垄断权)，重要的是掌握产品的社会平均利润率的变化，以及企业自身的利润率发展趋势。

设　T——设备合理使用期，且 $T=T_d+T_u$；

T_d——设备停机时间；

T_u——设备停机时间；

r——设备平均折旧率；

K_0——设备原值；

K_u——设备使用维修费累计额；

K_d——停机损失费累计额；

K_m——原料能源环境费；

K_w——人工费；

L——利润。

则总成本 C 为

$$C=K_0+K_u+K_d+K_m+K_w-rT$$
$$=\sum K-rT$$

由于　利润＝产品售价－成本－税金

产品售价＝产品单价 $W\times$ 全部产量 QT_u　(Q 为设备生产率)

税金＝利润 $L\times$ 税率 r_s

于是　$L=WQT_u-C-Lr_s$

$=WQ(T-Td)-\sum K+rT-Lr_s$

由上式得到

$$T=\frac{L(1+r_s)+WQT_d+\sum K}{WQ+r} \tag{2-15}$$

式(2-15)是考虑了利润、税率、产品售价、生产率、折旧等因素建立起来的一个综合性公式。在设备进行规划时，企业设备的决策者可以从设备投资目标利润 L 开始收集关于产品的销售情况、政府的税率、折旧政策等信息和设备预期要达到的生产率等，并求出合理使用期限。

2.3　设备投资预测

1. 预测的必要性

企业的生产经营活动是在社会环境这样一个很大的系统范围里进行的。社会大系统为企业小系统提供条件，企业小系统再为设备子系统提供条件。所以，进行设备规划时应从理论上了解企业系统和社会系统的每一个组成元素、它们之间的联系和性质，以及随时间延续而变化的规律。但实际上许多影响设备规划的因素往往是变化的，何时变，变化幅度多大，事前可能预见得到，也可能预见不到，这些因素统称为规划过程中的不确定性因素。由于不确定性因素是客观存在的，它将使有关设备的技术经济规划发生偏差或波动。在技术上，为适应这种波动，必须使设备功能留有余裕。在经济上，则需对这些不确定性因素波动的后果作出定量的分析，以判断投资的可行性。

在进行设备投资规划时，特别要注意以下一些因素的波动情况：产品的销售量及售价；设备购置价的变化；因调整企业目标利润而改变设备的寿命周期；可变成本的增减幅度；不变成本的调整幅度等。

投资预测是设备规划阶段的一项任务，对各种主要的不确定性因素的波动进行分析，判明这些波动对设备投资的经济后果有多大的影响。当这种影响大到不可承受时，这样的设备方案将是不可取的。

2. 数值的加权计算

任何不确定性因素的波动范围都是以一定数值来表现的，设备规划人员对各种数值都需要进行处理。

不确定性因素的数值呈现离散性，它的取值随不同的时间而异。取值范围可能与时间没有一个明显的函数关系，但从统计学的意义上来说它还是有某种规律的。

人们最习惯用这样的方式来估计不确定性的因素：一个数值，它最可能是多少，最大是多少，最小是多少，或者对一件事最乐观的估计怎样，最悲观的估计又怎样。

按β统计分布对上述习惯的估计方法是将数值进行综合加权处理。设r为数值加权计算的平均结果，则

$$r=(a+4m+b)/6 \tag{2-16}$$

式中，a——估计的最大值；

b——估计的最小值；

m——最可能值。

【例2-4】 某设备投资的收益率最乐观的结果为25%，最悲观的结果是12%，最可能的结果是20%，问加权平均值为多少？

解：

$$r=(a+4m+b)/6=(25\%+4\times20\%+12\%)/6=17.16\%$$

3. 盈亏平衡分析

这是一种最常用的技术经济分析方法，其基本原理是假设一项设备投资方案实施后，

产品产量等于销售量(无库存)；销售收入(售价)和总成本(支出)均为产量的函数；在盈亏平衡点上，总收入＝总支出。

$$销售收入函数\ S(X)=WX$$

式中，W——产品单价；

X——产量或销量。

$$成本函数\quad C(X)=B+VX$$

式中，V——单位产品的可变成本；

B——不变成本。

故利润函数

$$E(X)=S(X)-C(X)=WX-(B+VX)$$

当 $E(X)=0$ 时，盈亏平衡点的批量为 X_0

$$X_0=B/(W-V) \tag{2-17}$$

【例 2-5】 已知某产品单位售价为 100 元。单位产品的制造成本：材料费 50 元，工资 10 元。每年的设备费用为 80000 元，单位产品可变费用 5 元；销售产品时每年需要固定费用 6000 元，单位产品的可变费用 2 元。求盈亏平衡点 X_0。

解：$W=100$ 元

$B=(80000+6000)$元$=86000$ 元

$V=(50+10+5+2)$元$=67$ 元

$X_0=B/(W-V)=[86000/(100-67)]$件$=2606$ 件

$W-V=33$ 元，表示在 2606 件基础上每增减一件将多创或减少的利润额，称之为单位盈亏值。

4. 敏感性分析

不确定因素的波动会造成其他因素的变化。如产品的售价、成本、产量的变化等都将导致利润的变化；利润的变化又将影响设备投资的收益率、回收期等。因此，敏感性分析是指从此一因素发生波动的变化量去分析其他因素变化的幅度，又称之为影响因素的敏感分析。在设备的规划过程中通常将影响较大的部分变量做敏感性分析，将影响较小的因素看作常量来处理。

设备投资决策的敏感性分析最常用的方法是列举不确定因素对净收益现值增减的影响，进行分析的一般步骤如下。

(1) 确定设备规划及投资方案。

(2) 分析并确定对设备系统效率及寿命周期费用影响较大的因素。

(3) 确定各影响因素的波动范围和数值(以最佳、最可能、最坏 3 种情况去估计)。

(4) 列表显示分析结果。

在实际决策中可以根据上述的步骤列出敏感性分析表，在设备规划过程中抓住主要影响因素，加强管理来确保设备的投资效益。

5. 风险的概率分析

盈亏平衡分析和敏感性分析虽然研究的是不确定性因素的影响，但它们使用的方法仍然基于一些确定性的数值之上，如给出具体的波动数值来计算设备投资效果的变化幅度。然而，在实际情况下这些给出的具体波动数值可能发生，也可能不发生。对于这种不确定

性的因素的随机性问题必须引入概率的概念。对设备投资后果的随机性评价便是风险分析的任务。

风险分析的基本方法是对各个不确定性因素所取数值的可能性用概率表示，从而求出一个数学期望值，作为评价分析一个项目的依据。

设 P_i 为某个数值发生的概率，这项数值假设可能取 n 个($n=1, 2, 3, \cdots, n$)，则其期望值为

$$U_m = \sum_{i=1}^{n} U_i P_i \tag{2-18}$$

式(2－18)实际上是将某个数值出现的概率作为权数，求取随机变量的加权平均值。

【例 2－6】 某设备在投产达到其生产能力的可能性(概率)见表 2－3。

表 2－3　生产能力的可能性

达到生产能力(%)	60	65	70	75	80
概率(%)	5	10	20	60	5

试求其达到生产能力的期望值 U_m。

解：$U_m=60\%\times5\%+65\%\times10\%+70\%\times20\%+75\%\times60\%+80\%\times5\%=72.5\%$

所以设备规划人员可将 72.5%作为达到生产能力的依据。

借助于统计学的方法，风险大小将用离差来表示。离差越大，风险越大。偏离值是衡量风险大小的尺度。它有两种算法。

一种方法是计算某项目的结果与项目期望值之差的平方，即方差 V

$$V = \sum_{i=1}^{n} (U_i - U_m)^2 P_i \tag{2-19}$$

另一种方法是计算偏差系数 C

$$C=\sqrt{V/U_m} \tag{2-20}$$

偏差系数越大，风险也越大。这里所谓的风险，包含着好或坏两种可能性。作为设备规划者来说，出现坏的趋势是令人担忧的。当偏差系数太大时，应设法研究原方案或调查并收集更多的信息，以减小不确定性的程度。

2.4　设备规划的可行性研究

可行性研究是为了论证工程项目在技术上是否可行、经济上是否合理而进行的综合性全面分析，是投资决策前进行技术经济论证的一种科学方法。

可行性研究的好坏将直接影响到工程项目的经济效益。一般来说国民经济发展速度是与其投资率成比例的。我国改革开放前长期以来投资率在 30%以上，国民经济增长速度并不很高，主要原因之一就是不能很好地研究投资效果，事先对建设项目缺乏充分的可行性研究，建成后又缺乏科学管理，因而投资效益非常低下。从 1950 年到 1981 年的基建项目投资总额为 7000 多亿元，形成固定资产的仅为 5000 多亿元，而交付使用的只有 3750 亿元，仅占总投资的 53%。“六五”期间，我国固定资产投产使用率为 74%，“八五”期间

又降至 60%，每投资 3.6 元才能产生一元的效益。

从设备投资的角度来看，企业设备管理部门应根据企业的经营方针和目标，考虑到今后的发展并结合现有设备的能力，制订出企业中长期设备规划。对于复杂的项目或投资较大的技术改造项目则需进行可行性研究，以避免投资的盲目性。

2.4.1　可行性研究的阶段

可行性研究是进行任何重大决策前必须要做的一项工作。随着具体设备的不同，可行性研究的广度和深度也不同。对于重大的设备投资项目，可行性研究通常分为 4 个阶段。

1. 投资论证

在一个特定的地区和部门进行重大投资时，对其必要性和经济意义应首先予以说明。对设备投资费用的估算误差约为±30%。

2. 初步可行性研究

对投资论证中难以确认是否可行的项目需要进一步作出论证，以判断其可行性。此阶段投资费用的估算误差约为±20%。

3. 详细的可行性研究

这包括设备方案与地区、企业、车间生产计划的关系，工艺的适应性，能源和交通条件，生产组织及人事条件，环境和投资预算等。本阶段的详细过程体现在可行性报告中，要求投资费用的估算误差约为±10%。

4. 项目评价

对各种可行的方案进行技术经济论证，得出综合评价和选择的结论。

2.4.2　可行性研究报告书

可行性报告书是可行性研究的主要成果。根据撰写可行性研究报告的一般程序和内容，对设备规划来说应当全面阐述和论证设备投资方案的必要性，在技术和经济上的先进性、合理性还要说明实现此方案的可能性，以及规划实施的步骤和时间进程。报告书要涉及以下几个方面。

1. 总结

企业进行设备投资的动机和目的，指明设备规划研究的结论和存在的问题，以及解决这些问题的建议。

2. 设备与产品的关系

设备方案的可行性首先在于它对产品的品种、数量、质量在市场上的适应性，并必须明确产品对设备功能提出的要求。产品的生产批量安排方案对设备类型、生产率、设备的数量及组合形式等都起决定性的作用。产品的销售收益则是设备投资方案进行经济评价的主要依据。

3. 设备与所用能源、原材料的关系

设备能否正常运转，其所需的能源、原材料及辅料应有可靠的供应。

4. 设备设置的环境条件

工厂和车间是否具备设置某种设备的地质、气象、交通运输、占地面积，以及施工安装等条件。

5. 设备的技术方案

设备所选择的技术原理、结构、准确度、生产率、工艺装备，以及与其他设备的联系形式等归根到底取决于产品工艺过程的需要。如能满足这种需要可能的有多个技术方案时，在可行性研究报告中应该提出并论证这些可行方案的优缺点，说明优选方案的充分依据。

6. 设备与环境保护

设备在生产过程中排放的废气、废液、废料和噪声对周围环境构成污染。报告书中应研究如何治理这些污染源的方法和技术措施，预测对环境影响的程度。

7. 设备方案对操作及管理人员的要求

设备对人员的要求要配套、精练，这包括专业工种、数量、培训计划、生产组织及协作关系等。

8. 设备投资方案的经济评价

经济评价是可行性研究中的一项主要内容，投资总额、资金筹措、投资实施方案予以说明。在投资效果中，对重大的设备投资，除了应考虑企业经济效益外还要考虑其社会效益。在评价中对优选出来的方案要有充分的论证。

9. 不确定性分析

在设备方案的实施过程中，以及在设备使用和维修的漫长过程中，许多因素的波动对设备都会造成影响。如人员组织和工资的变化、原材料品质的改变、流动资金和折旧率的调整、产品转向等，对设备的影响至关重大。这些因素的变化有些可以预测其变化的幅度，有些则带有很大的随机性。不确定性分析的本质就是研究设备子系统与企业其他子系统之间的适应和变化关系。

10. 设备方案实施计划的策略

特别是对于重大的设备投资项目，或因技术难度大，或因大型设备的牵涉面广，在规划、设计、试制、批量生产、制造、安装、试验、投产等一系列过程中都要精心安排、精心组织，才能予以实现。对于资金占用量大的设备，还有筹措资金和投资策略问题。以上这些问题都应在可行性研究中给予论述。

11. 可行性研究的结论

这是为企业决策者提供方向性的建议，设备投资方案是否可行，还存在什么问题，从哪些方面去解决这些问题，以及解决这些问题的可行性，须在结论部分讲述清楚。

2.4.3 设备规划方案评价的指标体系

设备规划中涉及的评价指标有：技术指标、经济指标、技术经济指标和设备方案的经济效果指标。

反映设备方案技术性能方面的参数称之为技术指标。反映设备方案或工程项目经济方面的数据参数称之为经济指标。综合反映技术与经济两方面的对比关系的指标叫技术经济指标，各个工业部门与企业都有一套与其生产特点相适应的技术经济指标，如机械加工部门的单件产品合格率、成品装配一次合格率等；电力工业部门有发电煤耗率、线损率等。反映设备方案劳动成果与劳动耗费的对比关系的指标称之为设备方案的经济效果指标，这类指标是综合反映设备方案经济性好坏的指标。

设备规划方案中常用的指标如下。

1. 反映劳动成果的指标

劳动成果是重要的技术经济指标，表示劳动成果的指标通常有数量指标、质量指标、品种指标及时间因素指标等。

1）数量指标

产品产量、产品产值等均是数量指标。前者是以实物形式说明设备方案有用效果的指标，即实物量指标，如吨、台、件等；后者是通过价值的形式说明设备方案有用效果的指标，它们都统一在货币的基础上，称之为价值量指标。价值量指标又可分为总产值、商品价值及净产值等 3 类不同的指标。总产值是指物资消耗价值与新创价值之和，前者如固定资产折旧、原材料消耗等，后者则是指工资、利润、税金等；商品价值是指总产值中已出售部分；净产值则是总产值中新创价值部分，在技术经济分析中具有非常重要的意义。

2）质量指标

产品内在质量特性包括产品构造、精度、纯度、机械性能、物理性能及化学性能等；产品的外部质量特性包括外观、形状、尺寸、色泽、气味、手感等。由于不同的产品，其质量特性不同，因而反映产品质量的指标不能直接比较，在实际工作中通常采用间接的质量评价指标，如优质品率、废品率、返修率等。

3）品种指标

它是衡量技术水平高低和满足需要程度的重要标志，可用来反映具有相同经济用途而实际使用价值不同的产品种类的多少。表明产品品种的指标主要有：产品品种数量、新产品品种数量、尖端产品品种数量，以及它们在产品品种总数中的比重等。

4）时间因素指标

它是标明使用价值需要多少时间可以试制和生产出来，从而发挥其价值作用的指标。属于时间指标的有设备方案的建设周期、从投产至达到设计产量的时间、产品生产周期、设备成套周期等。

2. 反映劳动耗费的指标

设备方案的劳动耗资是指设备方案实施过程中(包括基本建设及生产运行)的物化劳动耗费。物化劳动耗费转移到劳动成果的形式分为多次转移和一次性转移两类。原材料、燃料、动力、低值易耗品等是在方案服务期内多次以折旧形式转移到劳动成果中去的活劳动，活劳动是劳动者在生产过程中脑力与体力的消耗。因此，方案的劳动耗费主要包括 3 个方面，即活劳动消耗、物化劳动消耗和物化劳动占用。

1）物化劳动消耗指标

物化劳动消耗可用原材料、燃料、动力等的实物消耗量和价值消耗量来表示。反映物

化劳动消耗的主要指标是：原材料总消耗量指标(一般用折旧额和单位产品折旧费来表示)。

2) 物化劳动占用指标

劳动占用是指有一部分劳动产品必须参加生产经营过程，虽然它们有的还没被消耗，但是作为生产经营过程的正常进行必不可少的，已被生产经营过程占用了的劳动产品，这种被占用了的劳动产品就称为劳动占用。生产经营活动中的劳动占用通常包括以下几个方面。

(1) 机器设备、仪器仪表中扣除折旧后的价值。

(2) 厂房、建筑物等扣除折旧后的价值。

(3) 处于储备状态中的原材料、燃料、动力等物化劳动产品。

(4) 处于生产过程和流通领域中的在制品、已完工验收入库待销售产品、已销售发货但未收回货款的产品、银行存款和库存现金等货币资金及劳动力等。

前两项是作为劳动手段而被占用的固定资产，后两项则是作为劳动对象而被占用的流动资产。

3) 活劳动耗费的指标

活劳动耗费可分为生产中直接的活劳动耗费与间接的活劳动耗费(如生产管理工作的活劳动耗费)。而直接的活劳动耗费又可分为各道工序的活劳动耗费。对各道工序的活劳动耗费通常可以用工时这个指标来衡量。此外，当经济论证的对象是一个企业的设计方案时，其实现方案所需的活劳动耗费的指标还有职工总数、生产工人总数、工资总额和平均工资等。

3. 反应设备方案经济效果指标

设备方案的经济效果是由方案实施过程中的劳动消耗与劳动成果的比较来定义的，当两者都能用数量或货币表示时，其比值是经济效益值。

常用的表示经济效益的指标有：总资产贡献率、资产保值增长率、资产负债率、流动资金周转率、成本费用利润率、全员劳动生产率及产品销售率等。

在对方案进行评价时，除对各项指标分别进行分析比较外，一般还需作出总的评价。由于不同的指标都有各自的含义和计量单位，有的希望提高(如收益类指标)，有的则要求降低(如消耗类指标)，不能简单地进行加减运算。作出总的评价时要在综合考虑各项指标的基础上尽量作出个体和定性的分析，避免片面性和减少决策失误。

2.5　重大设备投资项目的呈报和审批

经过可行性研究予以确认的设备投资项目还要经过呈报和审批才能结束设备的规划阶段，为项目的正式实施创造前提。

不论社会制度如何，局部与整体的矛盾、协调和统一的关系始终是存在着的。因而，也不论哪一类国家，设备投资项目都不可盲目进行。呈报和审批的实质是由企业、公司和主管部门分层次地对社会生产力的发展进行协调，使投资能创造最大的企业效益和社会效益。国家通过主管部门进行这种协调，意在指导投资方向，合理布局社会生产力，创造就

业机会，提高社会福利。低水平的重复投资必然导致国家人力、物力、财力资源的极大浪费。国家主管部门仅对大数额的项目进行控制，而将中小数额的投资审批权限下放给公司和企业。设备规划人员应明确本企业的隶属关系和审批权限的范围，以处理呈报内容和呈报程序。

2.5.1　设备投资项目呈报的主要内容

(1) 投资项目的名称及编号。

(2) 对本项目的应用范围和投资效益的简要说明。

(3) 由于设备投资而引起的设备购置费、流动资金和税金方面的支出情况。

(4) 设备投资的资金来源、数额(包括理想数额与最低数额)。

(5) 新设备、新技术可能得到的减免税额。

(6) 项目投资额及现金流量分配。

(7) 设备投资的地区、位置、企业。

(8) 设备投资的种类：主要生产设备、辅助性设备、其他用途的设备等。

(9) 由于新设备的投入而更替下来的旧设备的残值。

(10) 预计的使用期。

(11) 项目开工及实现的日期。

(12) 已作的技术经济分析详尽到何年度，分析的精度如何。

(13) 设备投资的收益率、资金的回收期。

(14) 折旧方法、折旧率、折旧总额。

(15) 设备投资后可能实现的利润率及目标利润。

(16) 预算的说明及规定。

(17) 是否经过可行性研究，研究报告由哪一级进行过审批。

(18) 备注。

在呈报的表格上应注明：呈报人的职务、签名日期；呈报文件编制人的职务、签名及日期；各种专业项目评审人员的会签；审批级别；审批人签字及日期。

呈报时应附上必要的文件和资料，如：企业情况，生产工艺说明，设备所在车间的平面图，设备项目清单，可行性报告书副本，投资效益及现金流量说明，设备的设计、制造及使用费预估，项目实施的组织措施，以及不可预见事态出现时的防范措施等。

2.5.2　设备投资预算外追加的限度和审批

设备投资项目在实施过程中由于以下原因造成预算不足必须追加投资。

(1) 修改设计。

(2) 原先没有预计到的通货膨胀所引起的各种费用的增加。

(3) 项目评审的反复和延续所引起的费用。

(4) 项目实施过程中的意外因素，如待工、待料、返工等引起的费用增加。

审批者面对追加预算有以下两种选择。

(1) 项目尚未实施，其要求的追加额又在呈报的设备投资理想数额之内，只是由于原先按最低数额审批，则不应作为呈报者的过错，一般应予追加到实际需要数额中。

(2) 项目已大部分实施但追加额较大时，审批者应视企业筹措资金的来源如何再来决

定项目暂停、缓建、下马或追加投资等措施。对于数额较大的预算外追加则应重新做可行性研究。必要时追加部分可作为单列项目来处理。

2.5.3 境外投资项目可行性研究报告及案例

1. 境外投资项目可行性报告

可行性研究报告是中方投资者或中方投资者与外方合作伙伴对拟建项目在经济、技术、财务，以及生产设施、管理机构、合资(合作)条件等方面进行研究评价的文件。该文件应对项目建设决策提供全面、科学的依据，因此其内容必须实事求是，提供的数据资料要准确可靠，对项目的建设和企业的生产经营要进行风险分析。

根据国家对境外加工生产项目可行性研究报告的要求，该报告必须包括以下几方面的内容。

(1) 项目合作各方的基本情况。

(2) 项目的总投资、注册资本、出资方式、资金落实方案。

(3) 根据市场调查确定的项目建设规模和产品方案(含对本地区相关产品结构的影响)。

(4) 技术设备和工艺过程的选择及依据。

(5) 市场情况分析(含周边市场及转口的可能)、经济效益(含汇率风险考虑)及投资环境的评估。

(6) 项目进度计划。

(7) 结论、问题和建议。

从企业角度来看，为了使可行性研究报告更加充实，论据更加充分，在具体的编制过程中应大致包括以下几方面的内容。

(1) 项目名称(中文、英文)，注册国家地区和地址等。

(2) 项目合作各方的基本情况；名称、注册国家(地区)、法定地址、电话、传真和法定代表人姓名、职务、国籍等；中方企业的概况，包括项目单位的性质、资产情况，其中包括固定资产、流动资金、所有者权益、资产负债情况、技术设备状况、技术力量状况、管理情况、职工情况、主要产品及市场情况、经济效益情况、出口情况、发展前景展望等；外方合作伙伴情况简介。

(3) 项目背景(由来)及设立该项目的必要性和可能性。

(4) 拟建项目总投资(包括固定资产投资、流动资金和建设期利息)、注册资本、合资各方出资比例、中方股本额及自有资金额、出资方式、资金来源及构成、筹措方式及贷款的偿还能力、方式及担保方等。

(5) 合资经营期限、合资各方利润分配及亏损时应承担的责任等。

(6) 产品方案及市场需求情况，包括销售预测、销售方向(本地市场、周边市场、返销国内)、产品的竞争能力、市场容量及发展前景、建设规模和发展方向等。

(7) 建厂条件及厂址选择方案，包括厂房设施、资源、原材料、能源、交通等配套情况。对原材料和能源的研究应包括以下内容：原材料选择的技术依据，这个问题应当与产品设计和工艺技术联系起来进行研究;? 原材料及能源供应的经济性。降低生产成本是提高项目竞争力的重要途径，而原材料和能源的价格是影响产品成本的主要因素，所以可行性研究中心须对原材料和能源供应的价格进行研究分析，在具有多种供应渠道的情况下应

进行价格比较。

(8) 技术设备及工艺过程的选择及其依据。包括技术来源、生产方法、主要工艺技术和设备选型方案的比较、引进技术、设备的来源等；工艺方案的选择是可行性研究的重点内容，其正确与否直接关系到生产效率和经济效益。工艺选择应考虑以下几条。

① 工艺技术应先进实用。新上项目应尽可能选用先进的工艺技术。选择工艺技术还应考虑项目的投资规模和投资效益。

② 设备选择与工艺选择有着直接联系。选择的设备必须满足所选工艺的要求，另外，还要符合生产规模的要求。工艺要求、生产规模要求、投资大小是设备选择的三大要素。

(9) 生产组织结构及经营管理方式。

(10) 建设方式、建设进展及其依据。

(11) 项目的经济分析与投资环境评价：财务分析，以动态法敏感性分析为主对各项收支情况和项目最终效益进行分析；投资环境评估，包括人文、自然、政治、法律环境评估。

(12) 结论、问题、建议。

(13) 主要附件，包括合资各方资产负债表、损益表；有关金融机构对境外贷款的承诺条件；有关部门对以专有技术(含设备)投资的项目中专有技术出口的审查意见；项目建议书的审批文件；县级以上国有资产管理部门对以设备为主的项目的审查意见等。

以上为境外加工贸易项目可行性研究报告的主要内容，每个公司又可根据本公司的具体特点、项目的要求，以及投资对象、国内市场的特点对其进行修正和组合，从而编制出适合本公司、本项目的可行性研究报告。

2. 可行性报告案例

【案例 1】　江苏省某集团赴非洲某国开展境外加工贸易。

其项目的可行性研究报告，内容包括下述 10 个方面。

第 1 章　项目概况，包括企业名称、性质、总投资规模、注册资本、资金来源、项目负责人、项目背景、可行性报告的内容简介。

第 2 章　合资经营各方的情况。

第 3 章　市场预测和生产经营计划，包括市场销售预测(近期和远期)、生产规模(一期、二期、三期)、经营规模(分期的销售计划、销售方式)。

第 4 章　物料供应计划，包括原材料供应(分年度、来源)、电、水等基础设施的保障。

第 5 章　合营地点确认，包括厂房的地理位置(平面图)、各种有利的生产经营条件(各种优惠条件)、费用核算。

第 6 章　项目的设计，包括生产设计、设备选择、环保、土建工程要求、消防设施。

第 7 章　管理机构和职工，包括公司的法律形式、公司领导机构的设置、管理机构的形式、职工人数、工资水平、福利、待遇的确定(社会保险、医疗费的确定)。

第 8 章　项目的实施计划，从项目启动到竣工的具体布置。

第 9 章　投资总额和资本的筹备(总投资、投资比例、出资形式、流动资金)。

第 10 章　项目的财务与经济评价，包括投资收益率、投资回收期、产品的销售计划

表、总成本费用表、利润分析表、盈亏平衡分析表、外汇平衡表。

在此基础上得出相应的结论。

【案例 2】 河南省某集团赴非洲某国开展境外加工贸易项目的可行性研究报告。

第 1 章 项目概况，包括项目的规模、生产技术工艺、资金来源、主要的经济效益指标、盈亏平衡分析的综述。

第 2 章 项目提出的依据和必要性论证。

第 3 章 承办企业的基本情况(简介)。

第 4 章 市场需求分析及产品方案，包括产品的需求市场分析、计划提供产品的情况(品名、规格、数量等技术参数)。

第 5 章 物料供应及协作配套情况，包括原材料及燃料供应、配套件及团体件的计划供应量及供应单位。

第 6 章 项目的总体方案。

(1) 采用 CKD、SKD 散件组装的基本思路，包括厂房、机械设备、技术保证、销售及售后服务等环节。

(2) 技术及设备方案：生产工艺的选择和基本要求，包括对各主要生产车间的基本要求和相应功能的确定。

(3) 土木建设。

(4) 各种配套的公用设施，包括供电、供水、各种动力保障。

第 7 章 建厂条件及厂址选择方案，包括厂房面积、地理位置的选择(应便于运输、保障水电的供应)。

第 8 章 环境保护，包括消防、节能、劳动安全卫生设施，对生产中所产生的废料、废气、烟尘的处理办法。

第 9 章 境外企业组织机构的设置。

(1) 境外公司组织机构的确定，相应管理人员的安排。

(2) 境外企业的财务管理原则及方法。

(3) 境外企业的生产管理。

(4) 境外企业的销售管理。

(5) 境外企业的人员培训。

第 10 章 项目的实施计划，包括从土建到建成达到设计标准阶段的计划安排。

第 11 章 总投资估算和资金筹措。

(1) 投资总额。

(2) 固定资产投资估算及明细账。

(3) 资金来源。

第 12 章 经济评价。

(1) 对境外企业未来若干年内的产量、销售收入、生产成本与费用(原材料、零部件的费用；燃料、动力费用；工资及福利费；管理费用，财务开支等项目)进行综合评价。

(2) 在核算上述各种费用的基础上，匡算出境外企业在未来若干年内的利润及分配方法。

(3) 对境外企业的财务盈利能力和清偿能力进行评估。

(4) 对贷款的偿还、资金来源及应用、资产的负债情况进行分析，从而确定企业的盈

亏平衡点，同时对项目还要进行不确定性分析和敏感性分析。通过静态和动态相结合的分析方法对项目的经济效益做出综合的评价并得出相应的结论。

思　考　题

1. 简述设备投资评价的依据。
2. 简述国家通过什么政策来知道和干预设备投资。
3. 叙述设备投资的评价方法。
4. 叙述设备最佳使用年限的估算方法。
5. 叙述盈亏平衡点 X_0 的计算方法。
6. 规划可行性研究报告有哪几个阶段。
7. 可行性报告书所涉及的内容有哪些？
8. 一电子公司计划初期投资 500 万元，要求当年有收益，投资收益率为 20％，计划 7 年将投资全部收回，计算每年末的预计等额收益。

第3章 技术方案的规划和评价



知识要点	掌握程度	相关知识	应用方向
设备的功能分析	了解	设备功能的分类，生产产品与设备基本功能的关系，功能余裕和功能冗余的概念	了解设备功能的分类，学会处理产品与设备功能的关系，提高产品的质量和扩大产品的数量
设备投资方案的经济评价	熟练掌握	资金的时间价值，现金流量，设备技术经济指标的意义与原则，设备投资效益的评价	掌握资金时间价值的计算方法，学会评价设备的经济效益
设备的结构系统分析	熟练掌握	从功能概念系统到结构实体系统的可能性，设备结构系统与机械设备的技术设计，设备结构系统与机械设备的技术设计	掌握设备的结构系统分析，重视协调设备系统与企业其他系统之间的关系，了解最佳结构系统的评价标准
设备的选型和购置	了解	设备选型的基本原则，设备选型时考虑的主要因素，设备选型的基本步骤	了解设备选型和购置的基本原则，了解设备选型和购置时应考虑的因素和基本步骤



一公司为了扩大生产计划投资设备 10 万元，若投资回收期从项目建设期开始算起，该设备第二年投入使用，每年折旧费 6000 元，从投产开始每年的净利润数值分别为：—1000 元、1000 元、2000 元、5000 元、6000 元、6000 元、……，求项目静态投资回收期。

设备技术方案规划的目的在于对设备的技术原理、结构方案、形式规格和制造工艺等作出决策。同时，还需考虑设备是通过自制还是外购的途径获得，以便确定设计制造安装调试的周期。因为这些时间和费用是设备整个寿命周期和费用的组成部分，在进行方案评比时是十分重要的。

设备技术方案规划很容易与设备的初步设计相混淆，实际上后者偏重于技术，而前者偏重于管理，涉及设备系统与企业内部其他系统的关系。我们将尽力避开具体的专业技术，研究设备技术方案规划中带有共性的分析和决策问题，探讨设备物质结构及其与企业内部环境系统的联系。

3.1　设备的功能分析

3.1.1　设备功能的分类

设备功能分析是技术方案规划的基础。设备作为最主要的生产工具，首先应当满足生产工艺过程的需要。当工艺过程比较复杂、时间和空间的延续比较大时，就必须对工艺过程进行分解，使其成为一定工序或工步的组合。

一种产品的工艺过程往往不是唯一的，但它却是与一定时期的科学技术水平相适应的。人们不可跨越科学技术的限度去制造超现实的产品，但也不应愚笨到抱残守缺，在工艺技术上不图革新，甘受淘汰的地步。太先进的技术可能导致较高的成本；太落后的技术会导致质量低劣和更高的成本。工艺方案的选择对企业设备系统的形成起着决定性的作用。

只有在确定工艺技术方案及工艺过程的分解方案之后，才能将一定的工序或工步运动的要求向进行设备规划的人员提出来。

在生产过程中，设备的基本功能是指设备的效用，它反映了设备的使用价值，假如一台设备丧失了其基本功能，那么这台设备就不存在任何意义了。

现在，设备正朝着大型化、复杂化的方向发展，设备一般除了基本的功能外，通常还有一些特定的辅助功能，但是设备的辅助功能越多，结构就会越复杂，越是需要高科技、高精确度的设备，它的制造、使用和维修的成本就会越高。因此，设备的决策者在做设备的规划方案时不但要选择好合适的产品生产工艺方案，将其合理地分解为一定的工序和工步，而且还需要给设备选取合适的基本功能和辅助功能。从产品(规划)的开始到设备系统的一系列规划，每一个规划都可能存在不同的方案，决策者要通过最后的比选来得到最优方案。

从功能的目的上来讲，可以将设备的功能分为使用功能和美学功能。例如家电设备中

的冰箱、洗衣机、彩电、空调等，应该使人有赏心悦目的美感。对于工业生产设备也应考虑外观美学设计。设备是供人使用的，在选择和设计过程中要考虑人—机工程学，使操作者对设备有一种舒适的感觉，而不致感到恐惧、厌烦和疲劳。设备的美学功能涉及设备的艺术课程，当然，过分追求美学功能必然导致设备造价的大幅度提高。

3.1.2　生产产品与设备基本功能的关系

设备的性能和结构直接依从于产品的性质。设备的基本功能取决于人们将要用它生产什么，生产多少，效益如何。可见，设备的基本功能必然要用产品的质量来衡量。一台设备，其产品的性能(质量标志)越好，数量越大，则它的基本功能就被认为越好。设备的基本功能 F 可表示为

$$F=PX \tag{3-1}$$

式中，P——产品性能；

X——产品数量。

设 T_u 为设备的实际使用时间，当生产 X 件产品时，那么，其设备的产品生产率 Q 为

$$Q=X/T_u$$

于是设备的功效 E 为

$$E=PQ \tag{3-2}$$

式(3-2)表明了设备单位时间内基本功能的发挥情况，以便于判断它的效果。

在进行设备技术方案规划时，所谓的不同技术方案，是指两台或者多台功能类似的设备，或者是一台设备的多种状态。技术方案评比也就是将它们的基本功能 F 或者功效 E 作比较。可以讲 A、B 两个方案的功能比 $R_F(A,B)$ 和功效比 $R_E(A,B)$ 写成

$$R_F(A,B)=F_A/F_B \tag{3-3}$$

$$R_E(A,B)=E_A/E_B \tag{3-4}$$

多功能的通用设备，其功能或者功效可用一种比较典型的产品作为当量产品来进行计算，也可以用各项功能或功效在使用期 T_u 内的代数和来表示。设 i 为使用期内通用设备分别生产不同产品的种类数，T_{ui} 为他们分别占用的时间，则

$$F=\sum_{i=1}^{n}P_iX_i=\sum_{i=1}^{n}P_iQ_iT_{ui} \tag{3-5}$$

$$E=\sum_{i=1}^{n}P_iQ_i \tag{3-6}$$

以上的各式中，产品的性能 P 比较抽象，难以付诸运算。在国内，较常用的办法是用货币来估量产品的性能，即将它们的价值和使用价值统一起来。作此转换时仅需将以上各式中用 P_i 代表产品 i 的单价即可。

3.1.3　功能余裕和功能冗余

设备功能与生产某种产品所需的功能之间不存在二者恰好相等的关系。设备的用途通常超出生产某种产品的数量存在功能的余裕。保持一定的功能余裕有利于提高产品的质量

和扩大产品的数量；而功能不足，就不能制造预定的产品。

1. 功能余裕和功能冗余在设备管理中的作用

可以说功能余裕在大多数设备中总是存在的。这是由于以下一些原因。

(1) 发展和开拓产品的需要。企业为拓展新产品，与其重新进行设备投资，不如事先考虑好产品发展的远景，在进行设备技术规划时就留有一定的功能余裕，这样做将会更省时、省钱。特别在引入竞争机制的情况下，企业不可能固守一项产品长期经营牟利。不考虑发展产品的品种系列将是企业的死路。

(2) 机械设备在设计制造中留有安全裕度。在机械设备的设计制造过程中，为设备安全使用起见，通常将计算载荷加大，将材料许用应力缩小，保持足够的安全系数。这正好为设备功能余裕创造了条件。

但是，设备技术规划人员不应忘记，机械设备的强度裕度是有限的，不能一味在这方面挖掘设备的潜力。当为了扩大设备功能而需要提高工率、提高转速、变化机件的受力状态时，最好对设备的关键部位和薄弱环节进行强度校核，不可贸然行事。

(3) 标准化、系列化的影响。在机械设备的设计过程中，由于推行标准化、系列化的技术政策，尺寸的选取都遵循就高不就低、就大不就小的保险圆整原则。如齿轮的模数，按强度条件计算可能为 $m=1.7$cm，实际应选用 $m=2$cm，以符合标准模数系列。

在设备进行技术方案规划时，功能余裕的存在很有意义。但不是设备的功能越多就越好，对于一些设备，功能多了反而会引出很多负面影响。对于设备，功能越多，付出的代价就越多，设备的复杂性就会增强，设备的制造和维修的费用就会增加。

2. 功能余裕度的选择

设备功能余裕的大小用功能余裕度系数衡量，它反映了设备的潜力。功能余裕是设备可能实现的最大功能 F_{max} 与其名义功能(或额定功能) F_0 之差，即

$$\Delta F=F_{max}-F_0 \qquad (3-7)$$

功能余裕度是指功能余裕量与名义功能之比。用 α_F 表示，即

$$\alpha_F=\Delta F/F_0\times100\% \qquad (3-8)$$

在考察同样的产品时，因为产品性能 P 不变，功能余裕度可用生产率的相对差值表示，即

$$\alpha_F=(Q_{max}-Q_0)/Q_0\times100\% \qquad (3-9)$$

式中，Q_{max}——设备最大生产率；

Q_0——额定生产率。

作设备技术方案规划时，设备余裕度 α_F 究竟为多大才是最适合的。可以根据以下几个方面来考虑。

(1) 企业的决策者从长远利益出发，预测出最大生产量 X_{max}，另外就是要从企业的目标利润来计算出设备的合理使用期 T，再根据设备利用率计算设备的有效使用期 T_u。从而推算出设备应该有的最大生产率 Q_{max}，$Q_{max}=X_{max}/T_u$ 最后再估算出 α_F。

(2) 当机械设备在社会上形成了系列化生产时，其转速、功率、生产率、尺寸等都要按照产品性能有关的要素来选择，当这些因素均按一定的优先系数系列分布时，客观上具备了按功能余裕量来选择设备的可能性。

(3) 采用价值工程法来进行分析选择。

3.2　投资方案的经济评价

3.2.1　资金的时间价值

随着时间的推移，资金价值量将发生变化，这就是资金运动的结果。不同时间的资金价值量称之为资金的时间价值。资金的价值于时间有着密切的联系，今天可以用来投资的资金，即便不考虑通货膨胀的影响，也比将来用等额的资金更有价值，因为它能立即用来投资，并由此来赚取更多的资金。

从设备投资来看，任何一个项目都是先发生投资支出，然后发生一系列的经营费用和销售收入。资金的价值取决于其实际使用、收效的时间。为此，为了正确评价投资项目的经济效果，必须考虑发生在不同时间的各种资金的时间价值。

对于资金的时间价值，无论社会的制度如何，都是以一定的经济活动后产生的增值或利润来体现的。一般来说，衡量资金的时间价值尺度应该是社会的投资收益率或社会评均的投资效果系数。

把资金投放于不同的行业，其增值量是不同的，例如存在银行，可以靠利息来增值；投入企业的资金则是靠利润来增值。但如果银行的利息率和企业的利润永远相等，就不会有人冒投资失败的风险而将钱存入银行坐享利息了。由于投资者可以在这两种资金的增值方式中做出选择，因此设备投资方案必须以资金的时间价值作为评价的标准。

为了正确地评价经济效果，必须将不同时期的金额换算成同一时期的金额，然后在相同的时间基础上进行比较。资金的时间价值换算方法与利息的计算方法相同。利息有单利和复利两种形式，复利计息符合资金在社会再生产过程中运动的实际情况，因而在技术经济分析中一般采用复利方法来进行计算。

1. 利息计算的两种形式

1）单利法

本金一定，利息与利率成正比，计算方法，单利的本利和为

$$F=P+I \qquad I=Pni \tag{3-10}$$

式中，F——n年来的本利和；

P——本金或现金；

n——计息的周期数；

i——年利率；

I——利息。

单利法反映了简单的生产模式，资金所创的利润不再投入经营，是一种静态的资金价值。

2）复利法

以本金和前期累计的利息之和计息，既是通常所说的“利滚利”，资金随时间成指数曲线形式增长变化。

$$F_n=P(1+i)^n \tag{3-11}$$

在技术经济分析中一般采用复利计算，我国的贷款也是按复利计息。

【例 3－1】 某企业以年利率 10%向银行贷款 10 万元用于技术改造，如 10 年后企业一次性全部还清贷款的本利和，偿付额为多少？

解： $F_n=P(1+i)^n=10\times(1+0.1)^{10}=25.937$(万元)

如按照单利法计算则偿还额为

$$F=P(1+ni)=10\times(1+10\times0.1)=20(\text{万元})$$

2. 现值、终值、和年值

(1) 现值 P：是指现在的金额，对于企业来说，就是目前库存的资金或当天需支付的款项。

(2) 终值 F：是指经过若干年后本利合计的金额，换句话说，就是今后的收入或支出的金额。

(3) 年值 A：指每年均匀支出或者收入的资金，例如，职工的工资、按直线法计提的年折旧额等。

3. 资金时间价值的计算方法

由于时间的作用，绝对值相等的资金并不一定等值，而绝对值不等的资金却有可能等值。例如，在【例 3－1】中，目前的 10 万元就与按年利率 10%计算的 10 年后的 25.937 万元等值。基于上述原因，为了在进行各种技术经济论证时具有可比性，须将不同时间的资金按照一定的利率换算成为同一时间的货币值才能进行比较。通常采用现值法或年值法进行换算。前者是将不同时间的收入或支出的费用按照一定的利率换算成为现值；后者则是将不同时间的收入或支出的费用按照一定的利率换算成为每年的等额费用，即年值。

1) 现值与终值的换算

已知现值求终值，公式(3－11)中的$(1+i)^n$ 称之为终值系数或复利系数，通常以符号$(F/P, i, n)$表示，经变换后，公式(3－11)可以表示为

$$P=\frac{1}{(1+i)^n} \tag{3-12}$$

式中，$\frac{1}{(1+i)^n}$为现值系数或者贴现系数，通常以$(P/F, i, n)$表示，所以公式(3－12)又可以表示为

$$P=F(P/F, i, n)$$

【例 3－2】 年利率为 10%，第 10 年末的资金为 10 万元的现值是多少？

解： 由复利表或计算得到现值系数$(P/F, 0.1, 10)=0.386$，故现值为 $P=10\times0.386=3.68$(万元)。

2) 现值与年值的换算

已知资金的现值，年值可以由下面的公式求得

$$A=P\left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}\right] \tag{3-13}$$

式中，$\left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}\right]$为资本回收系数，符号表示为$(A/P, i, n)$，所以式(3－13)又可以表示为

$$A=P(A/P,i,n)$$

【例3-3】 某企业从银行贷款50万元，年利率为12%，规定在10年内每年以等额还清本利，每年应该偿还多少?

解：由计算或查复利表得$(A/P,0.012,10)=0.17698$，每年应该偿还金额为$A=50\times 0.17698=8.849$(万元)。

如果已知资金的年值，现值的计算公式为

$$P=A\left[\frac{(1+i)^n-1}{i(1+i)^n}\right] \tag{3-14}$$

式中，$\left[\frac{(1+i)^n-1}{i(1+i)^n}\right]$为等值系列现值系数，符号表示为$(P/A,i,n)$，所以公式(3-14)也可以写成

$$P=A(P/A,i,n)$$

【例3-4】 当年利率为10%时，某项投资预计10年内每年能获利8万元，问该项投资的资金现值为多少?

解：计算或查复利表得$(P/A,0.1,10)=6.144$，所以现值为$P=8\times 6.144=49.152$(万元)。

3）终值与年值的换算

已知资金的年值，则其终值为

$$F=A\left[\frac{(1+i)^n-1}{i}\right] \tag{3-15}$$

式中，$\left[\frac{(1+i)^n-1}{i}\right]$为等额系列终值系数，以符号$(F/A,i,n)$表示，公式(3-15)又可表示为

$$F=A(F/A,i,n)$$

【例3-5】 如果每年从银行贷款5000元，连续贷款5年，年利率为8%，求5年后应偿还的本利和是多少?

解：计算或者查表可得$(F/A,0.08,5)=5.867$，所以，5年后的本利和为$F=5000\times 5.867=29335$(元)。

如果已知资金的终值，则年值为

$$A=F\left[\frac{i}{(1+i)^n-1}\right] \tag{3-16}$$

式中，$\left[\frac{i}{(1+i)^n-1}\right]$为偿债资金系数，符号表示为$(A/F,i,n)$，公式(3-16)又可以写成

$$A=F(A/F,i,n)$$

【例3-6】 设年利率为8%，如果在5年后积累10万元，则从第一年起，每年应该等额投资多少钱?

解：由计算或查表得$(A/F,0.08,5)=0.17046$，则每年应等额投资$A=10\times$

0.17046=1.7046(万元)。

各公式综合于表 3-1。

表 3-1　复利计算公式汇总表

序号	已知	求	系数名称	系数和符号	公式
1	P	F	终值系数	$(1+i)^n=(F/P,\ i,\ n)$	$F=P(F/P,\ i,\ n)$
2	F	P	现值系数	$=(P/F,\ i,\ n)$	$P=F(P/F,\ i,\ n)$
3	A	F	等额系列终值系数	$=(F/A,\ i,\ n)$	$F=A(F/A,\ i,\ n)$
4	F	A	偿债资金系数	$=(A/F,\ i,\ n)$	$A=F(A/F,\ i,\ n)$
5	P	A	资金回收系数	$=(A/P,\ i,\ n)$	$A=P(A/P,\ i,\ n)$
6	A	P	等额系列现值系数	$=(P/A,\ i,\ n)$	$P=A(P/A,\ i,\ n)$

3.2.2　现金流量

现金流量是指企业在其生产经营活动中发生的现金及现金等价物的流入和流出流量。在设备投资项目中，所有与之有关的资金支出就是现金流出量，包括设备的初期投资，使用年限内的维护费，使用在该项设备流动资金上的投资等；所有因项目带来的资金收入就是现金流入量，例如设备的折旧费、利润、回收残值等。现金流入和现金流出的差值就是净现金流量。

通常用现金流量图来表示项目在实施后的现金流量，在工程经济的研究中可以用来考察工程项目的经济效果，计算投资回报等情况。

在现金流量图中，水平线表示时间，时间的推移自左至右，各段下方标明的时间通常是指该年的年末，第 n 格的终点与第 $n+1$ 年的起点相重合。垂直线表示现金流量，箭头表示现金流量的方向，箭头朝上表示现金收入，箭头朝下表示现金流出，箭头的线段长度表示现金数值的大小，在箭头旁标注具体的数值。

图 3.1 所示为一般设备工程寿命周期内的现金流量图，分为开发建设期、试产期、使用期和回收期 4 个阶段。

图 3.1　设备工程现金流量图

3.2.3　设备技术经济指标的意义与原则

1. 设备技术经济指标的意义

指标是检查、评价各项工作和各项经济活动执行情况、经济效果的依据。指标可分成单项技术经济指标和综合指标，也可分成数量指标和质量指标。指标的主要作用有：①在管理过程中起监督、调控和导向的作用，通过指标考核、分析，发现偏差及时采取措施调整、控制，制订新的考核指标；②通过指标考核定量评价管理工作的绩效；③指标通过数据的形式反应实际工作的水平评价，与考核的绩效和企业及个人的利益挂钩，起到激励和

促进的作用。

设备管理的技术经济指标体系是一套相互联系、相互制约，能够综合评价设备管理效果和效率的指标。设备管理的技术经济指标是设备管理工作目标的重要组成部分。设备管理工作涉及资金、物资、劳动组织、技术、经济、生产经营目标等各方面，要检验和衡量各个环节的管理水平和设备资产经营效果，必须建立健全设备管理的技术经济指标体系。此外，有利于加强国家对设备管理工作的指导和监督，为设备宏观管理提供决策依据。

2. 设备技术经济指标的原则

(1) 在内容上，既有综合指标，又有单项指标；既有重点指标，又有一般性指标。

(2) 在形态上，既有实物指标，又有价值指标；既有相对指标，又有绝对指标。

(3) 在层次上，既有政府宏观控制指标，又有企业微观及车间、个人执行的指标。

(4) 在结构上，从系统观点设置设备全过程各环节的指标，既要完整，又力求精简。

(5) 在考核上，应按照企业的生产性质、装备特点等分等级考核。

指标应逐步标准化，力求统一名称、统一术语、统一计算公式、统一符号意义，扼要、实用、可操作性强。指标考核值的确定应建立在周密的分析基础上，并具有一定进取性。

3.2.4　设备投资效益的评价

设备投资效益的评价方法可以根据不同的经济性比较指标来进行分类，可以分为3种。

1. 投资回收期法

投资回收期是以设备的收益计算回收设备投资所需的时间，并以回收期的长短来判断方案优劣的方法。

1) 静态投资回收期

静态投资回收期是在不考虑资金时间价值的条件下反映方案投资回收能力的指标。

$$T=\frac{K}{A_b} \tag{3-17}$$

式中，T——投资回收期(年)；

K——投资额；

A_b——年度收益。

年度收益除了包括年度利润外，还应该包括每年固定资产的折旧费。如果每年收益不等，则应将逐年累加，直至总收益等于总投资时为止，这样即可得到投资回收期。换句话说，累加的收益额与投资额相抵为零或者大于投资额的年份就是设备投资回收期的最终年份。不足一整年的部分可以按式(3-17)以没有收回的投资额除以当年的收益得到。

【例3-7】 某设备项目总投资20万元，投资回收期从项目的建设期算起，项目第二年投产，每年的折旧费1.6万元，从投产年开始，各年的收益和未收回的投资额见表3-2。求设备的投资回收期。

表 3－2　投资期回收期计算表　　（单位：元）

年份		利润＋折旧	收益	未收回的投资额
建设期	0	0 0	0	200000
生产期	1	－3000＋16000	13000	187000
	2	16000＋16000	32000	155000
	3	35000＋16000	51000	104000
	4	42000＋16000	58000	46000
	5	42000＋16000	58000	－12000

解：由表 3－2 可得到，全部投资的绝大部分已经在第 4 年收回，第 5 年的收益已经大于了未收回的投资额。所以，设备的投资回收期 $T=4+46000/58000=4.8$(年)。

以投资回收期为判断依据来评价投资项目时，需要将所得的投资回收期与同类项目的历史数据和投资者意愿确定的基准投资回收期相比较，若前者大于后者，则项目不可行，反之，则可行。

2）动态投资回收期

上述的静态投资回收期没有考虑资金的时间价值。假如在资金流动时考虑时间价值，应该怎样解决呢？现在就介绍一种考虑时间价值的投资回收期的计算。

动态投资回收期是指考虑资金的时间价值，将设备所创造的各年度收益换算成为现值，并以现值来计算回收设备投资所需要的时间，也就是各年度的收益之和正好等于设备投资的时间长度。

现在以【例 3－7】中的数据来做计算，设年利率为 8%，按照动态法计算的结果见表 3－3所示。计算动态投资回收期。

表 3－3　动态投资回收期计算表　　（单元：元）

年份		收益		现值系数	收益现值	未收回的投资额
		利润＋折旧		$i=0.08$		
建设期	0	0	0	1.0000	0	200000
生产期	1	－3000	16000	0.9259	12040	187960
	2	16000	16000	0.8573	27430	160530
	3	35000	16000	0.7928	40430	100090
	4	42000	16000	0.7350	42630	77460
	5	42000	16000	0.6806	39740	37980
	6	42000	16000	0.6307	36550	1430
	7	42000	16000	0.5835	33840	－32410

从表中可以看出，动态回收期在 6～7 年间，因为到第 6 年末，投资现值的绝大部分已经收回了，仅剩下 1430 元，而第 7 年末则盈余 32410 元，因此准确的动态投资回收期为。$T=6+1430/33840=6.04$(年)。

从动态投资回收期的计算结果可以看出，动态法计算的投资回收期要长于静态法计算的投资回收期，且 i 值越大，差值就越大，表明利率越高，动态投资回收期就越长，用静态和动态这两种方法所计算的投资回收期就越大，对于中小型项目来说，由于投资额较小，一般采用静态投资回收期计算即可。

3）收益回收期法

收益回收期法计算简便，可以为投资者表明投资补偿的速度，对于从资金周转的角度去研究问题是有好处的。但是不足之处主要有以下几点。

(1) 没有考虑投资回收期后的收益。

(2) 没有考虑投资项目的使用年限。

(3) 没有考虑投资项目使用年限后设备的残值。

(4) 没有考虑更新或其他追加投资的影响。

由于收益回收期算法在现实工程中用得不多，在此就不再讲述。

2. 成本比较法

这是一种通过成本比较方案对投资方案进行评价的方法，投资方案的选取通常有两种方法，即：年成本法、净现值法。现在就对这两种方法进行简单的介绍。

1）年成本法（AC 法）

年成本法又称之为年度费用法，是应用较为广泛的评价方法，对于使用年限不同生产效率和工作质量相同的方案，可以通过使用年限的比较来评价方案的优劣。

对于使用年限不同的方案，可以将投资额、设备残值折算为每年等值的同额费用，并加上每年的维持费用，也就是年成本。残值作为终值分摊为年成本时起到了冲减成本的作用，所以应该是负值。设备使用过程中的维持费一般是一个变值。

如果每年的维持费用相等，则年成本为

$$AC=P(A/P,\ i,\ n)-L(A/F,\ i,\ n)+V=(P-L)(A/P,\ i,\ n)+L\times i+V \tag{3-18}$$

式中，P——设备投资额；

L——设备残值；

V——年度维持费。

【例 3-8】 某企业欲购置一台设备，有 A、B 两种型号可供选择，设 A 的价格为 20000 元，年度维持费用为 85000 元；设备 B 价格为 25000 元，年度维持费用为 7000 元。两台设备的使用年限均为 8 年，年利率为 10%，期末时，设备 A、B 的产值分别为 500 元、800 元，使用成本法对设备做出选择。

解： $i=10\%$，$n=8$，差复利表$(A/P,\ 0.1,\ 8)=0.18744$，所以两台设备的年成本分别为：

$$AC_A=(20000-500)\times 0.18744+500\times 0.1+8500=12205.08(\text{元})$$

$$AC_B=(25000-800)\times 0.18744+800\times 0.1+7000=11616.05(\text{元})$$

由于 $AC_A>AC_B$，因此应该选择设备 B。

对于每年的维持费用不等的情况，可以求出其年平均之后再相加来进行比较。

2）净现值法（NPV 法）

净现值法就是根据企业追求的目标选定一个合适的收益率，据此算出的投资使用期内

各年的现金净流量的累计现值。

如果现金流入的现值累积大于投资额，即净现值为正，说明该项目投资可行，反之净现值为负，则该项目投资应该舍弃。

上面所说的目标收益率应该根据企业筹资成本来确定，一般都比银行的贷款利率要高。

【例 3－9】 设备投资方案 A、B 的目标收益率均为 12%，使用年限均为 8 年。方案 A 的投资额为 500 万元，方案 B 则为 620 万元，8 年内的净现金流量逐年分别为(万元)。

方案 A：100；120；150；170；170；170；150；130。

方案 B：120；130；150；170；180；180；160；140。

计算结果见表 3－4，从计算的结果看来，两个方案都可取，而方案 B 的净现值又多于方案 A。如果两个方案的投资额相同，而方案 B 的净现值又多于方案 A，那么显然 B 优于 A。但是如果两个方案的投资额不等，以净现值的多少来评价方案的优劣是不全面的。此时就需要用净现值率来对这两个方案进行比较评价。所谓的净现值率就是净现值与投资额现值的比值，即

$$NPVR=\frac{NPV}{PW} \tag{3-19}$$

式中，$NPVR$——净现值率；

PW——投资额现值。

表 3－4　净现值计算方案的比较　　(单元：万元)

年份	现值系数 i=0.12	方案 A		方案 B	
		现金流量	贴现现金流量	现金流量	贴现现金流量
①	②	③	②×③	④	②×④
0	1.0000	－500	－500	－620	－620
1	0.8929	100	89.29	120	107.15
2	0.7972	120	95.66	150	119.58
3	0.7118	150	106.77	180	128.12
4	0.6355	170	108.03	200	127.10
5	0.5674	170	96.46	200	101.32
6	0.5066	170	86.12	200	101.32
7	0.4523	150	67.85	180	81.41
8	0.4039	130	52.51	170	68.66
合计		净现值 NPV=202.69		净现值 NPV=226.74	

所以上述例题以净现值率来评价上述两个方案，则有

方案 A：$NPVR$=220.69/500=0.4052

方案 B：$NPVR$=226.74/620=0.3657

所以，方案 A 的净现值率高于方案 B，则方案 A 优于方案 B。

根据以上结论，对于不同投资额的方案，只有使用净现值率才能得出正确的评价。

3）现值比较法(PW法)

现值比较法是将每年的维持费通过现值系数换算为最初一次投资费，再与最初的项目投资相加，组成总投资，据此进行比较。总投资现值最小的方案在经济上是有利的。

$$PW=P+\left[\frac{V_1}{1+i}+\frac{V_2}{(1+i)^2}+\cdots+\frac{V_n}{(1+i)^n}\right]-L(P/F,\ i,\ n)$$

3. 内部收益法(IRR法)

内部收益法是指借助于一个适当的贴现率 i，使该项目使用期内的现金流量的净现值为零，即现金流出的现值总和与现金流入的现值总和为零，此时的 i 值即是内部收益率。内部收益率法又称之为贴现现金流量法(DCF法)，这是目前国内外采用最为广泛的投资效果评价方法。一个方案的内部收益率越高，说明方案的经济效益越好。对于单一方案的评价，则应该将内部收益率和目标收益率进行比较，如果内部收益率比目标收益率高，则该方案可行。

内部收益率可由下式求得。

$$P=\frac{A_1}{(1+i)}+\frac{A_2}{(1+i)^2}+\cdots+\frac{A_n}{(1+i)^n}+\frac{L}{(1+i)^n} \tag{3-20}$$

上式中的投资额 P、年度收益 A、残值 L 及使用年限 n 均是已知条件，因此内部收益率 i 可由上式求出。

【例3-10】 某设备工程投资额为100万元，年销售收入80万元，年维持费45万元，年折旧费12.5万元；如工程使用年限为8年，残值为零，税率为50%，试求该投资项目的内部收益率。

解： 该项目投资的现金流入量为。

A =(销售收入－维持费－折旧费)×(1－50%)＋折旧费

=(80－45－12.5)×50%＋12.5＝23.75(万元)

因而 P/A＝100/23.75＝4.2105。

查复利表(P/A，i，8)项，知道 i 接近于15%，(P/A，0.15，8)＝4.487。由于4.487>4.2105，知道 i 大于15%；现就以 i＝17%计算，得4.2072。

计算的结果与4.2105非常地接近，如果需要得到更精确的结果，可以利用插入法进行计算。

i＝15%时，原计算结果与(P/A，0.15，8)的差值4.487－4.2105＝0.2765。

i＝17%时，二者的差值为4.2105－4.2072＝0.0033。

i 的精确值应该为

$$i=15\%+\frac{0.2765}{0.2765+0.0033}\times 2\%=16.98\%=16.98\%。$$

上述的几种不同投资方案的评价方法中，投资回收期法是以“时间”作为评价标准；年成本法、现值法、净现值法是以费用为标准；而内部收益率法则是以投资的“效率”作为评价标准。一般来说，投资回收期法适用于短期的投资评价；费用比较法在设备工程的投资评价中应用较广；而内部收益法通常用于长期投资的评价与分析。就方案而言，投资回收期常用于单一方案的指标与标准值比较；费用比较法多用于互斥方案的评价；内部收益法则在这两种情况下均适用。

3.3　设备的结构系统分析

功能系统还只是一个反映设备使用价值的概念系统，它解决了设备应该做些什么的问题，这仅是设备规划的初步工作。能否实现这些功能，怎样实现这些功能，无疑是设备技术方案中更重要，更令人关注的事情。

3.3.1　从功能概念系统到结构实体系统的可能性

对设备的基本功能进行分解和设计时应当思路开阔，以不失去每一种可能推出的方案。但在审查和评价一个构思出来的功能系统时又必须以科学技术为依据，判断从功能概念系统到结构实体系统的可能性。虽然这更应该是专业技术人员的份内事，但作为设备技术规划的管理工作者，也应该了解一些。

从系统工程的观点看，将一个概念系统转变为实体系统的可能性应具有如下两个条件。

（1）功能系统图中的每一项功能至少要对应一种能实现它的机构、零部件、元件或装置。

（2）在与每一项功能相对应的机构、零部件、元件或装置之间可以建立起保持确定运动状态的相互关系。

第一个条件反映了功能的现实性，第二个条件反应了功能的系统性。

3.3.2　设备结构系统与机械设备的技术设计

设备的结构系统是由体现其功能系统的各种实物单元组成的。因为每一项可对应着多种实物单元，所以结构系统势必出现多种方案。功能的多方案和结构的多方案两者乘积就是为体现某种基本功能而规划的设备总的技术方案数。

$$D=MN \tag{3-21}$$

式中，D——可能规划出的总的技术方案数；

M——可以实现的功能设计方案数；

N——可以实现的结构方案数。

设备技术方案的规划过程当然不是到现在才来罗列这么多方案，而是在功能设计和结构设计的过程中已逐渐将那些明显不经济、不合理和不现实的方案摒弃了，所以真正拿来评比的方案为数不多。

结构系统的设计必须应用更多专业技术知识，这已经属于技术问题了。但是，设备规划人员若不深入了解具体的结构方案，就难以做好整个设备管理工作。因为专门从事技术设计的专家，由于侧重于设备结构系统的技术问题而忽视了设备系统与企业其他系统之间的相互联系，所以做好这种协调工作正是设备管理工作者在规划阶段的重要任务。倘若在选择设备的维修周期时不相互协调，就会在设备系统处理故障和磨损问题上出现更大的随机性，增大设备系统的停机时间，降低设备利用率。

设备的结构系统与功能系统是一一对应的，因此，功能系统图与结构系统图便是机械设计和设备管理的纲目。至于具体的结构设计，将由专门的技术人员去完成。一台完美的

设备凝结着许多人的智慧和劳动。一个技术方案形成之后，还要在制造阶段去考验它的工艺性，要经过试验去证实它的功能，要在销售、使用和维修的漫长阶段反复考查当初技术方案规划的设计如何。

3.3.3　最佳结构系统的评价标准

设备的结构方案一经提出，就同时出现了对此结构的评价问题。在众多方案中优选出来的结构方案应当是能充分体现设备的基本功能，兼顾辅助功能和美学功能的。

在具体设计过程中，为了简化机构，应尽可能使承担基本功能的机构或元件兼有一部分辅助功能或美学功能的作用。比如汽车的罩壳，它不能算是汽车的基本功能，但它具有防尘和保护车上机构的辅助功能，而且汽车罩壳的美学功能是显而易见的。

要对已经规划出来的各个结构系统作出评价，就要考虑到影响设备的许多因素。但归纳各种因素的作用，会集中反映出下列三方面的问题。

1. 寿命周期费用最少是设备技术规划的总目标

设备的寿命周期费用由以下两大部分组成。

(1) 购置费用 K_0。它由设备研究、设计、制造成本与销售利税所组成。

(2) 役龄期使用维修费。由使用费 K_u、维修费 K_r 和停机损失费 K_a 等构成。寿命周期费用最少的总目标可写成

$$LCC=K_0+K_u+K_r+K_a=\sum K \longrightarrow \min \qquad (3-22)$$

凡是能够降低 K_0、K_u、K_r、K_a 的措施都具有减少 LCC 的效果，问题在于这几项费用不是互相孤立的。可见 LCC 最少的目标是一项系统工程，要使影响 LCC 的因素有一个最优化的搭配，以满足 $LCC \longrightarrow \min$ 的要求。

2. 正确处理创新与继承的关系

在设备技术方案规划过程中应尽可能地采用新的工艺方法和新的科学原理，推广新技术，提高设备的工作质量和生产效率。由于设备是长期使用的工具，它要经得起相当长时期内因技术进步带来的影响。所以在作技术方案规划时，除折旧期和投资回收期要求较短的设备外，一般应有一定的功能余裕度，以适应企业的远景发展。

获得功能余裕度的途径：一是对照原理、旧结构的挖潜，但这是很有限的；二是应用新原理、新结构，这可使设备的功能大大提高。这两种途径在设备技术方案规划中都是要考虑的，它们的本质就是对一种现有技术手段的继承和创新。举个最简单的例子，最早的平面加工机床是牛头刨床，依靠刀架栋梁在床身导轨上的往复运动来实现切削加工，它的缺点是刀具空行程损失大，加工的精度和光洁度都不高。于是人们发明了铣床，用连续的铣削加工来提高平面加工的效率和零件平面的质量，相对刨床来说，铣床是一种极大的创新。

但牛头刨床至今还在单件生产和维修车间中存在，因刨床结构简单，以廉取胜，并在继承和利用往复运动进行切削这一原理上它也是有所发展的，牛头刨床以其可以进行大件或多件同时加工显示了它的优越性。

在现代工业生产中，几乎每个行业、每个部门都形成了它的工艺设备体系。在每个体系中，设备的品种、系列和数量都处于彼此协调、相对稳定、互相补充配套的状态。进行设备规划时，首先要了解和尊重这种现象。因此，先要继承现有的技术手段，在此基础上

才能谈到创新。

3. 技术设计中标准化的意义和内容

标准化是在生产社会化的条件下必然产生的一种技术经济政策。它是在国家的主持下，经有关的产、供、销各方面共同协商，对社会产品在规格、参数、水平、试验和工作方法等方面作出的统一的规定，并使之简化，以利于获得更大的技术经济效果的手段。标准化的对象和范围通常包括概念、实物形态、方法、程序等的标准化。对于机械设备来说，标准化的形式主要表现为产品系列化、部件通用化、零件标准化和设计方法、工艺过程的典型化。

在设备规划的技术设计中，若不注意标准化的政策，将大大增加设备的研究和制造成本，并给今后的安装、使用、维修造成巨大困难。反之，将极大地降低设备的寿命周期费用。

自觉地遵守标准化的政策将给设备的技术规划工作带来不少便利。例如，设备部件(包括动力头装置、传动装置、控制装置、变速装置等)实行通用化以后，可以组织专门化生产，提高部件质量，大大节约设计工作量和缩短设备的研制安装期。在使用维修期中，由于部件的通用化，对于维护保养、装拆更换、准备易损零部件都十分方便。所以，设备在进行结构设计之后必须经过标准化审查。

在实际生产中，人们通常用标准化系数来评价一台设备的标准化程度，我国实行三级标准制：国家标准、部标准和企业标准。标准在生产过程中具有法律的约束力，它是产品质量、生产技术和组织管理行为的规范。

设备管理中的标准管理内容有以下几方面。

(1) 设备及其零部件的名称、性能的标准化。

(2) 设备主要技术方法的标准化。

(3) 零部件设计方法的标准化。

(4) 制造、安装工艺方法的标准化。

(5) 设备测试方法的标准化。

(6) 设备使用维修标准化。

(7) 包装、运输方法标准化。

(8) 人员操作、维修、培训标准化等。

标准化推行的深度和广度是设备技术方案规划工作质量高低的重要标志，也是每个管理人员必备的一种基本素养。

3.4　设备的选型和购置

设备的选型是设备管理的一个重要环节。因为设备在运行到经济年限时就应该报废，要购进新的设备来代替它，以维持企业生产的进行。所以，不论是新建企业的建设还是老企业的改造都要进行设备选型；自行设计、自行制造的专用设备则要进行方案的审定。尤其是从国外引进设备时，设备的选型就显得尤为重要。这些工作一般都由企业的设备管理部门来承担，对于重要的设备、大型的设备、成套的设备的选型则需要由机、电、仪等方

面的专家组成一个专家决策小组来决策。

3.4.1　设备选型的基本原则

外购设备的选型是指通过技术上和经济上的分析、评价和比较，从可以满足需要的多种型号、规格的设备中选购最佳者的决策。设备无论是从外企业购入，还是企业自行制造，选型都是非常重要的。有些设备本身并无任何故障，但长期不能发挥作用，往往是设备的选型不当。因此，设备的选择合理与否将影响该设备在使用年限内能否发挥最大的经济效益。

所以，在设备选择时要遵守以下几个基本原则。

（1）生产上适用。所选择的设备适合企业现产品和开发产品工艺的实际需求，满足企业的生产和扩大化再生产的要求。

（2）技术上先进。以生产适应性为前提，以获取最大的经济效益为目的。要求设备的技术性能指标保持先进水平，有利于提高产品质量和提高设备的技术寿命。

（3）经济上合理。指设备本身的经济效果最佳，即价格合理、使用能耗低、维护费用少、投资回收期短。

在实际的设备选型中，通常要将生产上使用、技术上先进和经济上合理进行三者统一权衡。

3.4.2　设备选型时考虑的主要因素

1. 设备生产率和产品质量

设备生产率与产品质量主要是指单位时间的产品产量与设备质量的工程能力。例如，对于设备的生产率产品质量来说，指流水线的节拍，以及一般工人技术条件下产品的一级品、优等品率。而设备的生产率用在单位时间内所生产的产品数量来表示。例如，空气压缩机以每小时输出压缩空气的体积来表示；制冷设备以每小时的制冷量来表示等。

高效率设备的主要特点是：大型化、高速化、自动化、电子化。

2. 工艺性

工艺性是指设备满足生产要求的能力。机器设备最基本的一条是要符合产品工艺的技术要求。例如加热设备要满足产品工艺的最高与最低温度要求、确保温度均匀性和控制精度；油泵要满足在操作条件下，保证扬程和流量。另外，要求设备操作方便、控制灵活，对产量大的设备应该要保证自动化程度高。对有毒有害作业的设备则要求自动化控制或者远距离监控等。

3. 可靠性

可靠性属于产品质量管理的范畴，是指精度、准确度的保持性、零件耐用性、安全可靠性等，设备的可靠性从广义上来说是指机器设备的精度、准确度的保持性、机器零件的耐用性、执行功能的可靠程度、操作是否安全等。

4. 维修性

设备维修的难易程度用维修性来表示。维修性是指通过修理和维护手段来预防和排除

系统、设备、零部件等故障的难易程度。一般来说，如果设备设计合理，结构比较简单，零部件组装合理，维修时零部件易拆易装，检查容易、零件的通用性好、标准性及互换性好，那么设备的维修性就好。

5. 经济性

选择设备时，要求设备最初的投资少，即设备的购置费用较低，设备的生产率高，自然寿命较长，维修及管理费较少，并能节省劳动力。

6. 安全性

在选择设备时，要选择在生产中安全可靠的设备。设备的故障会带来重大的经济损失和人身事故。对于有腐蚀性的设备，要注意防护设施的可靠性，要注意设备的材质是否满足设计要求。还应该注意设备结构是否先进，组装是否合理、牢固，是否安装有预报和防止设备事故的各种安全装置，如自动切断动力装置、自动报警器等。

7. 环保性

环保性是指设备产生和排放的有害物质对环境的污染要符合国家规定的要求。应该选择不排放或少排放“三废”的设备，或者选择那些配备有相应治理“三废”附属装置的设备。还要附带有消声、隔音装置。

8. 成套性

成套性是指设备本身及各种设备之间的配套情况，这是构成设备生产能力的重要标志。设备的成套包括单机配套和项目配套。在选择设备时，应该避免动力设备和生产设备之间的“大马拉小车”或“小马拉大车”的现象。应该避免每个生产设备之间存在“头重脚轻”等不配套的现象。

9. 投资费用

在选择设备时，对上述各种因素进行认真评价之后还要考虑设备的最初投资、并且要顾及投资的合理平衡。不仅要考虑设备的投资来源和投资费用的大小，而且要顾及设备投资的回收期限和由于采用新设备带来的节约。

3.4.3 设备选型的基本步骤

设备选型的一般步骤如下。

(1) 组织选型决策小组。由设备管理部门带头，在企业内外聘请对设备熟悉、了解信息、责任心强的专家，组成决策小组。如果是简单设备的选型，则只需选择一位业务熟悉的人员即可。

(2) 信息搜集和预选。将国内外相关设备产品目录、样本、广告、说明书及相关专业人员提供的信息汇总，从中筛选出可供选择的机型和生产厂或供货商。

(3) 对预选机型的生产厂或供货商进行查询或者访问，详细了解产品技术参数、随机附件、价格、供货周期、付款方式、软件及随机技术资料、图纸供应、人员培训、保修年限和售后服务等情况。书面或直接访问此产品的用户，听取他们的意见，从中选择两三个候选机型或厂家。

(4) 接触—协商—谈判。对候选机型的厂家或供货商直接进行接触，就上述问题进行

协商、详细谈判，做好记录。

(5) 决策小组在充分研究资料并征求使用单位、工艺单位的意见后，通过分析、论证，对候选机型和厂家作出最后的选择决策，报请主管领导审批。

(6) 与选定的机型供货商或生产厂签订供货合同，进入合同管理阶段。

以上步骤对于重要的设备必须遵循，但对于简单设备、一般设备可以适当简化。对于重要的设备工程可以采用国际上惯用的招标方式，保证以最有利的条件获得理想的设备。

思　考　题

1. 叙述功能余裕的意义，功能余裕与功能冗余有何不同。
2. 如何选择功能余裕度?
3. 简述投资方案的评价方法。
4. 从系统工程的观点看，将一个概念系统转变为实体系统的可能性应该具有哪些条件?
5. 设备选型的基本原则是什么?
6. 设备选型时通常要考虑哪些因素?
7. 查找相关资料，结合实际，试述设备选型的基本步骤。
8. 技术方案规划的目的是什么?

第 4 章 设备的安装与验收



知识要点	掌握程度	相关知识	应用方向
设备的布局与设备的安装	了解	设备的布局方式，设备的安装要求，设备安装工程的管理	了解设备的布局方式，按照设备安装时的要求和注意事项做好设备安装前的计划和设备安装工程的管理
设备的调试和试运转	了解	设备调试的准备工作，设备的调试和试运转	了解设备调试和试运转的方式
设备的验收与初期管理	了解	设备验收的内容，设备初期管理的含义，设备初期管理的主要内容	了解设备的验收与交接工作。知道设备初期管理的工作内容
重大设备及进口设备的管理	了解	国外引进设备的注意事项，进口设备管理的主要内容	了解国外引进设备的注意事项，了解进口设备管理的内容

导入案例

摘自《法制晚报》：2009 年 10 月 23 日下午 1 时许，位于中关村南大街的北京理工大学新 5 号楼 9 层一实验室爆炸，5 人受伤。

此次意外造成该校化工与环境学院一名老师、一名博士生与一名研二学生，以及两名技术人员受伤。爆炸是由于新设备调试中发生了意外。“我当时就听见一声巨响，回头一看，新 5 号楼高层开始冒烟。”据当班保安告诉记者，浓烟越来越多，一些学生从楼里跑出来，随后有人报警。

据了解，发生爆炸的是微生物实验室。校方有关负责人说，近日该实验室刚进了一批新设备，昨天下午两名设备调试技术人员正在调试新设备，老师带着两名学生在一旁观看。事发后，5 名伤者被送到校医院止血，随后被转送到北医三院。校方负责人与部分学生陪同前往医院。

昨晚 8 时，记者在北医三院看到，其中一名受伤的学生正在眼科做检查，另一名学生坐着轮椅在眼科门外等候，伤者的身上仍然有许多细小的碎玻璃。其他伤者已进行了包扎。

医生说，5 名伤者主要是面部、眼部及手臂等部位被玻璃碎片不同程度划伤，两名学生经检查眼部没有问题已于昨晚出院。

老师的伤势较重，但无生命危险。昨晚医生给他做了面部、眼部的清创手术，目前还在医院等待进一步的诊断结果。图 4.1 所示为其中一名受伤学生。

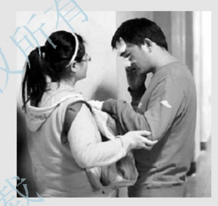


图 4.1　在实验室爆炸中受伤的学生

设备的安装是指按照设备工艺平面布置图及有关安装技术的要求将已经到货并开箱检查的外购设备或大修、改造、自制设备安装在规定位置的基础上，并进行找平、稳固，达到安装规范的要求，并通过调试、运转、验收使之满足生产工艺要求的操作过程。

设备安装定位的基本原则是：满足生产工艺的需要及维护、检修、技术安全、工序连接等方面的要求。设备在车间的安装位置、排列、标高，以及立体、平面间相互距离等应符合设备平面布置图及安装施工图的规定。

设备安装是设备管理工程中的一个组成部分，安装也是设备寿命周期中的一个阶段，其时间进程体现为安装工期，其经济支出表现为安装费用。安装工期和安装费用也是设备寿命周期优化设计、优化决策的一个因素。

要取得设备在空间的精确位置，安装又包含了技术问题(图 4.2)。正确地选择和实施安装技术是设备效用能得到可靠发挥的前提，是设备技术管理的一部分。此外，安装的效果如何要通过设备的试运转来验证。设备试运转包括单机的试运转和设备系统的试运转，可以在无负荷和有负荷两种情况下进行。最终评判安装效果的依据是产品的质量和生产率。

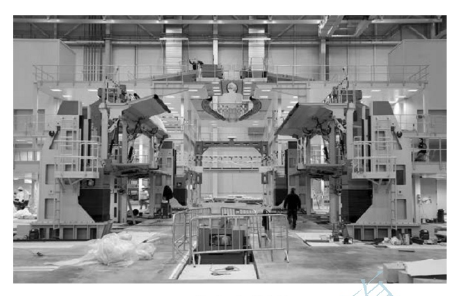


图 4.2　大型设备的安装现场

4.1　设备的布局和安装

4.1.1　设备的布局

企业系统的生产力要素是：劳动力的数量和素质，劳动工具的性能、类型和数量，劳动对象的性质和数量。企业内部生产力的布局形式取决于生产组织形式。一台设备的安装应该保证 4 周都有通道，以满足安装、操作、维修、运输、材料、半成品或成品的堆放，清除切屑等需要。方位要考虑采光照明，与其他设备的联系，起重、安全等需要。金属加工设备按生产工艺的要求合理地布置生产线，设备按照工艺要求排列称为设备的工艺布局。对于非流程式工艺过程的 3 种不同生产组织形式，其设备的安装布局也分为 3 种形式。

1. 机群式

依照设备的品种、类型分区排列安装，集中调配使用。

特点是以通用性设备为主，对于产品变化的适应性强，但平时设备的功能余裕能力难以全部发挥。

按机群式进行安装，有利于生产中的原料、半成品和在制品的管理，有利于通用性的工、夹、量具和辅具的调剂安排。这种安装形式适用于单体、小批生产，产品变化较大的，如工具车间、机床车间等。但它要求有技术熟练的，比较熟悉设备技术特点的操作人员才能很好地开发设备潜力。

2. 流水线或自动流水线式

按照产品工艺或工艺过程的顺序安排安装设备，以加强工序间的衔接关系，减少运输过程，消除工序间的在制品积压。这种安装过程适用于生产品稳定，成批大量生产。其特

点如下。

(1) 因为流水线和自动流水线采用生产效率较高的专用设备，其性能得到了充分发挥，不需要或较少需要保持一定的功能余裕度。

(2) 流水线生产形式意味着加工对象在工序间的停留时间短，所以机械设备间的配置是紧凑的，不必留有较大的堆放在制品的空间。

(3) 同时，它对于劳动力则需要具有较强的专门化训练，要有一批熟知整个工艺过程的管理人员和调整工，以确保流水线中各个设备环节按统一的生产节奏运转。

可以预见，组成流水线的各台设备，一旦其中一台发生故障，则必将造成整条流水线的停滞。对于大批量生产来说，流水线停滞造成的停机损失是很大的，所以有必要加强薄弱环节。为了提高运行的可靠性，可采用冗余技术予以解决。

3. 可变流水线与机群混合式

这是介于前两种安装布局之间的形式，即一部分设备按机群式安装过程，另一部分设备按流水线或自动流水线安装，兼有机群式和流水线的特点。在成批生产中，产品的品种、数量可以变化，但工艺过程的差异不大。这时可根据被加工对象的共性，如零件加工面的几何特征相同、准确度和表面粗糙度相似、机械物理性能相近等条件，发挥工艺过程典型化的优势安排成组加工，以扩大批量。工艺过程典型化强的工序采用专用设备，工艺过程差异大的工序则采用通用设备，在设备布局上形成半流水式与机群式的混合。所以，它对劳动力的需求，有些专业性要强些，有些专业面要广博些。

对于产品变化较多的单件小批生产和成批生产的形式，企业规划人员在安装设备时要有远见，根据企业的近期和远期发展战略最佳地考虑设备、道路和起重运输设施的组合。另外，在对企业内部生产力布局问题的考虑上，事先应估计到企业改造的前景，设备安装应留有今后调整的余地。

车间进行工艺布局时要进行周密的设计。一般是按照比例将每一种型号的设备平面图(俯视图)形状剪成型片并表示出最大的形成轮廓尺寸和工人操作的位置。在同一比例的车间平面图上进行布置，考虑生产中的各个方面，如建筑结构、通道、非生产设备、起重运输设备、功能装置、采暖通风、调温调湿、照明等，比较各方案的优缺点，选定最佳方案，最后将型片插定在图样上，即为车间的平面布置图。比较复杂和特殊车间还需要绘制立体图。此外，还要考虑排列美观、整齐，符合技术安全要求，操作、维修方便，生产中起重运输方便，粗精设备不相互影响，符合经济性原则、合理利用车间面积等因素。

设备的定位还应该参照机械工业部关于《机械设备安装工程施工及验收通用规范》确定设备与设备之间，以及设备与通道、资质、墙壁之间的距离，以及纵向、横向还是背靠背等排列形式。设备标高应方便操作与生产的需要。

4.1.2 安装工期的时间结构

安装是设备管理工程中的一个组成部分，安装也是设备寿命周期中的一个阶段，其时间进程体现为安装工期，其经济支出表现为安装费用。安装工期和安装费用也是设备寿命周期优化设计、优化决策的一个因素。正确地选择和实施安装技术是设备效用能得到可靠发挥的前提，是设备技术管理的一部分。设备安装工期是寿命周期的组成部分。为了缩短安装工期，应对这一时间进程的结构作逐一的分析。

安装过程可分为准备阶段与实施阶段。安装准备阶段的工作内容有：设备的开箱验收、了解设备的安装内容和使用说明书；研究设备安装的技术特点；准备安装所需的常用工具和专用工具；准备安装现场的环境条件(动力、电源、水源、气源、地基和基础等)；试验的计量仪器；试件准备等。安装的实施阶段包括设备位置找正、基础浇灌巩固和机械设备的试运转等 3 步。为了缩短设备安装工期，可将准备阶段和安装实施阶段的工作交叉进行。所以，可将安装工期简单地表示为 3 个实施阶段时间的总和。设 T_{in} 为安装工期，则

$$T_{in}=T_a+T_f+T_t \tag{4-1}$$

式中，T_a——校正设备位置的时间；

T_f——基础浇灌及凝固的时间；

T_t——试运转时间。

设备早日投产，早日产生经济效益，可以改善企业经营的条件。特别是那些重点工程项目，早投产，早收益。但必须在保证安装质量的前提下才能缩短安装工期。设备管理部门要严格把关，认真检验，要做到绝不让不合格的安装延续到设备的使用阶段去。

4.1.3　设备的安装要求

1. 设备的安装定位

安装定位的基本原则为：满足生产工艺的需要及维护、检修、技术安全、工序连接等方面的要求。设备在车间的安装位置、排列、标高，以及立体、平面间相互距离等应符合设备平面布置图及安装施工图的规定。设备的定位要考虑以下几个方面。

(1) 适应工艺过程和部件联合加工的需求，包括环境温度、粉尘、噪声、光线、振动等。

(2) 保证最短的生产流程，方便工件存放、运输和切屑清理，以及车间平面的最大利用率，并方便生产要求。

(3) 设备的主体与附属装置的外形尺寸及运动部件的极限位置符合要求。

(4) 满足设备安装、维修、操作安全的要求。

(5) 厂房的跨度、门的宽度和高度、起重设备的高度等符合要求。

(6) 平面布置应排列整齐、美观，符合国家有关规定的要求。

2. 设备安装精度的三要素

设备安装的目的就是要确保基准在空间位置的准确性。安装的正确位置由机械设备或其单独部件的中心线、水平性和标高来体现。虽然不能要求绝对准确，但对于一定性质的设备，在某个时期的技术水平条件下应当准确到什么程度，要由相应的允许偏差去作量的规定，使其在允许的安装偏差内不会严重影响机械设备的安全和连续运转，不会严重影响生产率和设备的使用寿命。

在设备安装过程中，对中心线、水平性和标高偏差进行的调整分别称为找正、找平和找标高，这就是安装准精的三要素。

(1) 找正。安装时要找正设备中心线，机械上的主轴、轴承孔等精加工面都可以取做中心线的依据。

(2) 找平。调整机械设备安装后的水平度，其重要性大于找正。因为相对于水平面的

倾斜会直接影响设备的稳定和重心平衡。并且，具有回转运动的机械，由于倾斜，势必产生因惯性力而造成的振动。倾斜还会使润滑条件恶化，以及由于附加载荷而导致设备过度磨损，工作质量和准确度降低。找平的目的是保持安装的稳固性、减少振动、避免变形，以保证工作精度和防止不合理的磨损。因此，必须达到设备要求的水平度、平行度、垂直度等，安装过程中按照设备说明书或《机械工业部设备安装验收规范》规定进行。

① 找平基准面的位置。一般以滑动部件的导向面(如机床导轨)或部件装配面、工卡具支承面和工作台面等为找平基准面。

② 安装垫铁的选用应按说明书和设备的有关技术文件的规定。垫铁的作用在于使设备安装在基础上，有较稳定的支承和较均匀的荷重分布，并借助垫铁调整设备的安装水平与装配精度。因此，垫铁的形式、尺寸、数量，以及安装部位的选择十分重要。

③ 地脚螺栓、螺母和垫圈的规格应符合说明书与设计的要求，按 JB15—1959 选定。振动较大的设备应加锁紧螺母。长导轨机床应采用球面垫圈。

(3) 找标高。标高就是安装的基准点到所测表面(或线)的高度。大型设备安装后，在运转过程中将逐步沉陷。新设备在运行一个阶段后要定期检测各观测点标高的变化。过量的沉陷或沉陷不均可能导致严重事故。所以，必要时需将机械设备重新解体，再予以安装。找标高就是使机械设备的某一基准面(线)达到规定的高度。一般直接测定基准点到设备标高测定面(线)的距离来作检验。

3. 设备的安装注意事项

(1) 设备安装部门必须按照有关方面的审查批准的设备平面布置图进行安装施工。确定安装位置，检查安装条件，确定安装方法，准备安装器械。

(2) 按照有关规定建造安装基础，测量基础中心、水平和标高，安装设备的基础底板，在调整合格和保证底板清洁的前提下进行二次混凝土浇灌。

(3) 利用纵横线对设备进行初步定位，在相邻的机组全部定位以后再做准确的定位。

(4) 设备安装牢固之后，将所有的污物、水迹、铁屑、防锈油清除干净。所有进行装配的零部件必须清洗干净，并涂上规定的油脂。但设备上的铅封、密封和技术文件中规定不得拆卸的机组除外。

(5) 零部件清洗装配后，应将所有的润滑部位按照规定加注润滑油脂，然后手动调整各运动部件，要求轻松灵活，没有阻碍、运动方向等现象。对于大型的设备，可以使用适当的工具，缓缓谨慎地进行。

(6) 进行电气部分安装应按安全、可靠、准确的标准进行。

4.1.4 设备安装工程的管理

1. 管理的范围

(1) 经验收合格入库的外购设备安装。

(2) 经鉴定验收合格的自制设备安装。

(3) 经大修理或技术改造后的设备安装。

(4) 企业计划变动，生产对象或工艺布置调整等原因引起的设备安装。

2. 安装工程计划的依据

(1) 编制安装计划的依据。

① 企业设备规划，包括外购设备计划、自制设备计划、技措计划的设备部分、更新改造设备计划，以及工厂工艺布置调整方案等。

② 安装人员数量、技术等级和实际技术水平。

③ 安装材料消耗定额、储备及订货情况。

④ 安装费用标准，安装工时定额。

(2) 安装计划的编制。

① 根据设备规划，外购设备订货合同的交货期自行设计制造、改造和大修理设备计划进度等，于每年 11 月份编制下年度上半年的设备安装计划，每年 5 月份编制下半年的设备安装计划。

② 根据安装计划，估算工时、人员需要量及安装材料需要量，做出费用预算。

③ 根据安装计划，与使用部门及其他有关部门协调工程进度。

④ 根据安装计划，提出外包工程项目、技术要求及费用核算(或审核承包单位提出的预算)。

⑤ 根据设备库存和实际到货情况等，按季、月编制安装工程进度表，人员、器具、材料及费用预算，施工图样和技术要求。在预计开工日期之前一个月下达给施工和使用部门做施工准备。

(3) 安装计划的实施。主管部门提出安装工程计划、安装作业进度及工作令号，经企业主管领导批准后由生产部门作为正式计划下达各有关部门执行。

4.2 设备的调试和试运转

4.2.1 调试的准备工作

设备安装完成后，必须进行调试(图 4.3)，应做好以下工作。



图 4.3 设备调试现场

(1) 多次擦洗设备，油箱及润滑设备有足够的润滑油，滑动面应该多次涂油，各润滑点应保证有充足的润滑油。

(2) 试车前装好防护装置，清理设备上不必要的部件，确保安全。

(3) 应该事先运行电气部分，先不要挂上皮带或者脱开联轴器，确定转向正确以后再

挂上皮带或连接主机，并且适当地张紧。

（4）试车时应该空转一小时，注意温度的变化。按照部件—组件—单机—机组的方式逐级试运行，前一级不合格，停止进行下一级试运行。

（5）开启启动按钮后，应先点动数次，检查各部位动作无误后，正式运转，由低速逐渐增加至高速。

（6）试运行中如有非正常情况，应立即停止运行，并进行检修。

（7）试车中要求润滑液压系统、冷却系统、加热系统各管路通畅。阀件和机构的动作正确、灵活、可靠，确认部件无裂纹和碰损等缺陷。

（8）试车结束后，断开动力源。消除压力和载荷，清理运动线路上的障碍物，整理运转记录。

（9）对照设备的出厂检验证书的项目，逐项认真检查。如有不合格现象，应该及时向有关部门反应、通知制造厂商，追究相关责任。试车检验证书和记录归入设备档案。

4.2.2 设备的试运转

1. 试运转前的准备工作

设备试运转前应做好以下各项工作。

（1）再次擦洗设备，油箱及各润滑部位加够润滑油。

（2）手动盘车，各运动部件应轻松灵活。

（3）试运转电气部分。为了确定电机旋转方向是否正确，可先摘下皮带或脱开联轴节，使电机空转，经确认无误后再与主机连接。电动机皮带应均匀受力、松紧适当。

（4）检查安全设备，保证正确可靠，制动和锁紧机构应调整适当。

（5）各操作手柄转动灵活，定位准确并将手柄置于“停止”位置上。

（6）试车中需高速运行的部件(如磨床的砂轮)应无裂纹和碰损等缺陷。

（7）清理设备部件运动路线上的障碍物。

2. 设备的试运转

对新设备及大修后的旧设备，在安装好后都要进行试运转，这是安装阶段的最后工作。其目的在于综合检验设备的运行质量，经过磨合，使设备达到正常磨损的状态。其技术性能稳定，可以确保在运转中实现设备的基本功能。

一般设备的调试工作包括清洗、检查、调整、试车，由使用单位组织进行。精密、大型、关键设备和特殊设备情况下的调试，由设备动力部门会同工艺技术部门组织。自制设备由制造单位调试，设计、工艺、设备、使用部门参加。

试运转分为：空载试运转、负载试运转和精度检测试运转三部分。试运转时应遵守：先空载后负载，先局部后整体，先低速后高速，先短期后长期，先简单后复杂的谨慎稳妥原则。

1）空载试运转

空载试运转的目的是检验设备装配和安装的准确度，以及能否在运转的情况下保持其稳定性，主要检查设备的传动、操纵、控制、润滑、液压，检测系统是否能正常发挥其功能。在试运转过程中可以发现并消除某些隐蔽性的缺陷。空载试运转时，因设备不带负载，由于某些缺陷而产生的破坏性可以降至最小，发现危险信号时也易于制动。

在试车前要进行必要的准备：现场清理，紧固件检查，润滑检查，供油、供水、供电、供汽系统及安全装置是否完备等检查。

空载试运转的时间视不同设备而异：对工作时间短或有周期性停车的设备，空载运行不低于 2～4 小时；对于精密和重要设备，其空载连续运行约 10 小时。由于空载运转发现事故而停车修理，然后重新试车，不得低于最少的试车时间标准。

设备的空载试运转起到了初期磨合的作用。磨合是否达到要求，最简便的检测方法是测试各个主要运动副的发热现象。经历一段时间的空运转，一般正常的工作温度不允许超过 50℃。

空转试验分步进行，按照由部件到组件，由组件到整机，由单机到全部自动线的方式进行。启动时先“点动”此数，观察无误后再正式运转，由低速到高速逐渐增加。以机床为例，空转试验检查以下几方面的内容。

(1) 各种速度的变速运行情况，由低速到高速逐渐增加，每一级速度运转时间不得小于 2min。

(2) 各部位轴承温度。正常润滑条件下，轴承温度不得超过设计规范或者说明书的规定。主轴滑动轴承温度不大于 60℃(温升不大于 40℃)；主轴滚动轴承温度不大于 70℃(温升不大于 30℃)。

(3) 各变速箱运行时的噪声不大于 85dB，精密设备不大于 70dB，不能有冲击声。

(4) 检查进给系统的平稳性、可靠性，检查机械、液压、电气系统的工作情况。

(5) 各自动装置、连锁装置、分度机构及联动装置动作的协调性、正确性。各种保险、换向、限位和自动停车等安全防护措施的灵活性、可靠性。

(6) 整机连续空转时间应符合表 4-1 内容，其运转过程中不应该发生故障或停机事件，自动循环的休止时间不大于 1min。

表 4-1　机床连续空转时间

机床控制形式	机械控制	电液控制	数字控制	
			一般数控机床	加工中心
时间/h	4	4	±6	32

在空载试运转中可能发现各种故障，此时必须立即排除。如设备的密封性能不良，配合表面之间间隙过大、过小，温升超标，噪声，动作不均匀等故障会导致设备性能达不到要求，应立即停车检查排除，不能解决的问题应该与制造厂商联系来解决。

2) 负载试运转

负载试运转的目的是检查设备在一定负荷下的工作能力，以及各组成系统的工作是否正常、安全、稳定、可靠。承载能力和工作性能的指标应连续试运转一段时间后确定。

负载试运转的方法：负载试运转一般以设备铭牌标示的额定转速或额定速度进行，从低载荷开始逐渐增加负载，最后以超载 10%～25%进行试运转。这个阶段主要检查动力消耗、生产率、工作速度等指标。

设备的负载试运转一般要稳定进行 72 小时以上才能认可，然后投入正常运行。

设备负载试运转应有详细记录，这包括以下几方面内容。

(1) 设备本身几何准确度的检查记录。

(2) 一批试件产品质量的检查记录。

(3) 设备试运转过程中出现的故障及排除情况记录。

(4) 对发生故障的原因分析。

(5) 对于设备试运转的总结和结论。

(6) 试验人员及试验日期。

3) 精度检测试运转

在设备负载试运转结束后，按照说明书或者有关技术文件的规定进行精度加工试验，且应达到出厂精度或符合合同规定的要求。如机床进行几何精度、主传动精度及加工精度检查或对专门规定的检查项目进行检查。

在设备运行试验中要对整个设备的运行情况加以评定，做出正确的技术结论，且应做好各项记录，主要包括以下几个方面。

(1) 设备的几何精度、加工精度、检验记录及其他机能试验的记录。

(2) 设备试运转情况，包括试验中对故障的处理工作。

(3) 对无法调整及排除的问题，按性质分类：原设计问题、制造质量问题、安装质量问题、调整中的技术问题等。

设备试验后做好各项检查工作的记录，根据试验情况填写“设备精度检验记录”一式3份，分别交给移交部门、使用部门和设备动力部门保管。

4.3 设备的验收与交接

设备的验收是在设备进行安装调试后进行的，设备的安装验收包括：基础施工验收和设备试运转验收两部分。设备基础施工的验收由土建部门质量检查员进行验收，并且填写“设备基础施工验收单”。设备安装工程的验收在设备调试合格后进行，由设备管理部门、工艺技术部门协同组织安装检查，使用有关部门人员参加，共同鉴定(图4.4)。设备管理部门和使用部门双方签字确认后方为完成。达到一定规模的设备工程(如200万元以上)由监理部门组织。工程验收时，应具备下列资料。



图4.4 设备验收现场

(1) 施工图或按实际完成情况注明修改部分的施工图。

(2) 设计修改的有关文件和签订。

(3) 主要材料和用于重要部位材料的出厂合格证和检验记录或试验资料。

(4) 隐蔽工程和管线施工记录。

(5) 重要浇灌所用混凝土的配合比和强度试验记录。

(6) 重要焊接工作的焊接试验和检验记录。

(7) 设备开箱检查及交接记录。

(8) 安装水平、预调精度和几何精度检验记录。

(9) 试运转记录。

设备的基础施工验收严格按“设备安装基础施工规范”进行，要审查基础设计的图样、技术要求、备料情况、施工工艺过程及试样鉴定。检查在基础上设置的中心板和标高基准的准确度及地脚螺栓孔开挖的质量。

设备试运转的最后验收是在设备调试合格，经企业的安装、检验、设备管理和使用部门共同作出鉴定后，在有关施工质量、准确度检验、试运转记录等验收凭据齐全的情况下填写验收移交单，并由设备管理部门和使用部门签字。

在验收结束后，将验收设备时填写的“设备基础施工验收单”、“设备负荷试验记录”、“设备竣工验收记录”等转交设备管理部门进行存档，最后在企业和验收部门、生产商之间填写“设备交接试验记录”。在试验合格后就交接给企业。

至此，企业的设备系统才算具备了合格的实物形态，可以作为企业的一个组成部分参与到生产过程中去。

4.4　设备使用初期管理

1. 设备使用初期管理的含义

设备使用初期管理是指设备正式投产运行后到稳定生产这一初期使用阶段(一般约 6 个月)的管理。也就是对这一观察期内的设备调整试车、使用、维护、状态检测、故障诊断、操作人员的培训、维修技术信息的收集与处理等全部工作的管理。加强设备使用初期管理的目的是为了掌握设备运转初期的生产效率、精度、加工质量、性能和故障的跟踪排除，总结和提高初期运转的质量，从而使设备尽早达到正常稳定的良好状态。同时将设备前期设计、制造、安装中所带来的问题作为信息反馈，以便采取改善措施，为今后设备的设计、选型或自制提供可能依据。

2. 设备使用初期管理的主要内容

(1) 设备初期使用中的调整试车，使其达到原设计预期的功能。

(2) 操作工人使用维护的技术培训工作。

(3) 对设备使用初期的运转状态变化观察、记录和分析处理。

(4) 稳定生产、提高设备生产效率方面的改进措施。

(5) 开展使用初期的信息管理，制定信息收集程序，做好初期故障的原始记录，填写设备初期使用鉴定书及调试记录等。

(6) 使用部门要提供各项原始记录，包括实际开动机时、使用范围、使用条件、零部件的损伤和失效记录、早期故障记录及其他原始记录。

(7) 对典型故障和零部件失效情况进行研究，提出改善措施和对策。

(8) 对设备原始设计或制造上的缺陷提出合理化改进建议，采取改善性维修的措施。

(9) 对使用初期的费用与效果进行技术经济分析，并作出评价。

(10) 对使用初期所收集的信息进行分析处理。

① 属于设计、制造上的问题，向设计、制造单位反馈。

② 属于安装、调试上的问题，向安装、试车单位反馈。

③ 属于需采取维修对策的，向设备维修部门反馈。

④ 属于设备规划、采购方面的信息，向规划、采购部门反馈并储存备用。

4.5　重大设备及进口设备的管理

4.5.1　国外引进设备的注意事项

引进国外先进的技术装备(图 4.5 和图 4.6)不仅提高了企业的整体装备水平，而且还提高了企业在市场上的竞争力。但是如何使引进的设备能够发挥最大的经济效益，加强设备的综合管理就显得至关重要了。所以，从国外引进设备时通常要注意以下几点。



图 4.5　从日本引进的大型自动化生产线

1. 配套性

整体引进的配套性指的是设备系统与环境(企业的其他子系统及企业外的大系统)的协调性。部分设备引进的配套性，除了指引进设备对企业内外环境的协调性之外，还有它在设备子系统内部的协调性，即它的基本功能应该保证实现企业产品的工艺要求，它所负担的工序或工步能完成这部分工艺过程的任务。

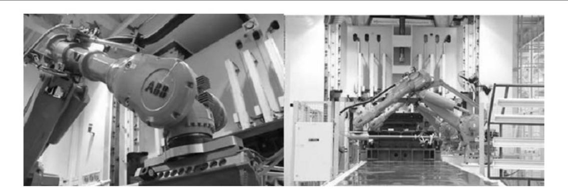


图 4.6　从瑞士引进的单臂机械手用于汽车生产线自动化设备

除了设备之间的配套关系之外，还要考虑引进设备与原料、能源、人员的配备。

2. 维修条件

引进设备维修是一件大事。由于我国的维修体制与国外的维修体制不尽相同，这就形成了引进设备维修问题的特殊性。因此，为了保证引进的设备有良好的维修条件，就要考虑以下几个问题。

(1) 详细了解引进设备的生产厂家有关该设备的设计、使用、维修条件，如功能、寿命周期、安装试车条件、润滑使用注意事项、维修关键、修理方法、可靠性、关键部位的设备诊断、配套设施要求、环境条件等。

(2) 易损件、备用件的图样、技术资料及供应情况。不少引进设备的国家、生产厂家或公司以配件供应和设备修理为手段，达到控制我国企业生产经营活动的目的。因此，不能单纯以引进设备时一次性的购置费作为评估的唯一依据。

(3) 引进设备的国外贷款条件，包括总额、利率、偿付形式、偿还期、引进设备的贷款合同、技术援助合同。

(4) 与引进设备有关人员的培训问题等。

3. 运输和安装条件

引进设备的运输和安装必须严格按照提供设备一方的条件进行。在此情况发生的设备损坏、零部件和配件丢失、耽误工期，以及其他不能正常履行设备引进合同的现象均应按照合同追究责任。企业要对引进的设备进行严格验收，如果发现有整机功能缺陷，零部件损坏，误装、少装，以及耽误工期等情节，可以采取索赔措施。

4. 涉外法规

企业为引进国外设备所作的准备工作中还应包括让有关的决策人员和工作人员了解涉外经济法规，这也是设备管理工作中应当引起重视的问题。

根据企业设备投资规划，企业需要采购国外有关设备，设备采购部门要按国外设备情况进行市场货源调查，向设备制造商和设备经销商询价和了解供货情况，对收集到的各种报价和供货情况进行评价比较，从中选择几家较有可能购买的厂商，与其进行较为详细的磋商，最后确定一家厂商签订订货合同，由双方签章后便具有法律效用。

合同条款的签订必须符合国际经济法规的规定，必须明确表达供需双方的意见，条文清楚，表述准确，无漏洞可钻。对于可能发生的各种变动因素应该列入防止和紧急解决的方法。

4.5.2　进口设备管理的内容

1. 计划管理

计划管理是搞好进口设备的规划，达到预期目的和要求的前提。企业应该拟定一个比较稳定的中、长期技术改造和更新的规划，确定进口的设备项目，以便及早收集情报，摸清国外情况(技术的先进程度、价格等)，并做好国内配套的各项工作。在制订规划时，要根据资金来源(利用外资或国内贷款)与偿还能力，国内设备的配套能力，企业技术水平和管理水平，以及科学技术的发展趋势和方向量力而行，循序渐进。

制订一个切实可行的规划必须对每一台需要进口的设备进行可行性研究，做好技术、经济分析、论证，选择技术先进、生产适用、经济合理的设备，特别要注意引进那些“适用的技术”。即要从本国的实际情况出发，根据国情和国力(对进口设备的消化能力，备品配件的供应能力，原料、动力、维修能力，技术管理能力等)进行各方面的评价和比较，有选择地引进技术和设备，反对盲目引进所谓的“高新技术”。

制订规划和编制计划时应由企业主管技术的总工程师、副厂长(副总经理)组织，由计划、设备、基建、财务、技术、供应等各有关部门参加讨论研究。总工程师要能善于听取设备主管部门的意见和建议，要让设备主管部门提方案或提出初审意见。

2. 考察谈判

考察与谈判是计划确定后进行的。设备的主管部门应直接参与对外谈判和出国考察。这样做有利于对引进技术中必需配套设备的分析，判断哪些是必须进口的，哪些是可以在国内进行配套的，哪些可以利用已有的设备进行改进、改造来满足要求的，避免进口国内能解决的设备，也有利于对进口设备的价格和成套性、维修性、节能性等的审查。

在考察和谈判中学习和了解国外设备方面的先进技术和管理方法，有利于设备管理部门今后做好设备的安装、维护、修理和国内配套设施的选型，有利于设备部门及时做好配套、安装的准备工作，促使工程项目早日投产。

同外商谈判时应注意的技术策略问题如下。

(1) 对外商的报价要从技术、性能、价格、设备成交、合作制造、合作条件、利用外资贷款的可能性等方面进行综合分析选择。要贯彻技术经济相结合的原则，将适用的先进技术放在第一位，而不是谁便宜就买谁的，这方面的例子已经存在很多了。

(2) 由有关部门组成联合谈判领导小组，共同商量谈判计划、方案和策略，共同遵守，一致对外。尽量让外商先提方案，有利于迅速权衡和制定对策。

(3) 位于第一线的谈判小组应精干，出国考察人员应该作为主要成员参加，主要谈判人员不要在中途进行更换。

(4) 谈判要灵活掌握，适时成交，不要因急于求成而造成被动。

(5) 要了解和熟悉国际上通行做法和趋势，善于进行有理、有利、有节的斗争，对于外商的不合理要求和条款要善于抵制或拒绝。

(6) 为做好设备进口工作，还应熟悉有关外汇、外贸、税务、海关和商检等方面的业务知识。

思　考　题

1. 企业系统的生产力要素是什么?

2. 叙述设备安装精度的三要素及安装的注意事项。

3. 简述设备的调试。

4. 简述从国外引进设备的注意事项。

5. 非流程式的工艺过程，按产品的品种和数量可分为哪 3 种模式? 其设备的安装布局方式可分为哪几种形式?



第 5 章
设备的使用和维护



知识要点	掌握程度	相关知识	应用方向
设备的运行管理与设备的功能分析与检查	了解	设备运行管理制度，岗位技术规程，设备的功能分析与检查	通过制定运行管理制度等规章制度，理解设备运行管理的工作内容，做好设备的功能分析与检查工作
设备的使用和维护	了解	设备的合理使用，设备维护的四项规定要求，设备维护的类别及内容	了解设备合理使用和设备日常维护的主要内容
设备的磨损及润滑管理	熟练掌握	设备的摩擦与磨损，设备磨损的原因分析，设备润滑的概念分类及作用，润滑管理的内容以及基本要求	通过设备磨损的原因分析，掌握设备磨损及润滑管理的内容和基本要求
设备维修策略与计划	了解	设备的维修模式，设备维修的策略选择，设备维修计划的制订	了解设备维修的技术经济指标，了解设备维修的策略选择和设备维修计划的制订

导入案例

设备维修工作在整个设备管理工作中占有很大比重，怎样保证机械设备的投资发挥最大的效益；怎样促进企业优化设备资源配置，提高本单位的经济效益对维修的经济分析就显得非常重要，设备在什么时候需要更新而不是大修，特别是设备众多时(图 5.1)，这些工作更显得重要。



图 5.1　众多设备现场

设备的使用维修阶段一般来说占设备寿命周期的绝大部分。这段时间过程又称作设备的服役期，服役期的年限称为设备的役龄。要使设备充分发挥作用，提高经济效益，长期保持良好的性能和精度，延长设备的寿命，减少故障和修理工作量，就必须对设备进行精心维护，并正确使用。

5.1　设备的运行管理

设备运行管理是指由操作工人在设备运行中所进行的设备管理。设备一旦交付生产使用，即进入了设备的运行期。这时操作者开始形影不离地与设备打交道，就像是设备本身的一个“部件”一样，开始显示出他在设备运行中的主体地位。操作者最了解设备的“脾气”，他对所操作的设备最了解、最熟悉、最能不断发现和揭露设备上存在的问题，给管理人员提供第一手资料，使设备在可控状态下运行。因此，运行管理的主要内容就是企业管理者运用管理手段管理操作者如何去维护好和用好设备，主要包括建立合理的运行制度；建立严格的运行操作规定；建立定期检查运行情况制度；建立科学的日常养护制度等。

5.1.1　设备的运行管理制度

设备使用管理规章制度主要包括设备使用规程、设备维护规程、操作人员岗位责任制、交接班制度和操作工巡回检查制度等。正确地、严格地执行这些规章制度是合理使用

设备的重要措施。设备管理人员应该在规章制度的制定、完善，以及执行情况的落实方面多下工夫。

国家机械工业委员会发布的《机械工业企业设备管理规定》中对设备使用有明确的规定。

(1) 操作工人在独立使用设备前须对其进行设备的结构、性能、技术规范、维护知识和安全操作规程等进行技术理论教育及实际操作技能的培训。经过考试合格发给设备的操作证后，方可以凭证独立操作。实行考核和凭证操作的制度是保证设备正确使用的基本要求。

(2) 操作工人应掌握好“三好”、“四会”，操作者应严格执行使用设备的“四项要求”、“五项纪律”。

对操作工人的“三好”要求：管好设备、用好设备、修好设备。

对操作工人基本功的“四会”要求：会使用、会维护、会检查、会排除故障。

对设备操作者的四项要求：整齐、清洁、润滑、安全。

对操作工人的“五项纪律”①实行定人定机，凭操作证使用设备，遵守安全操作规程；②经常保持设备整洁，按规定加油，保证合理润滑；③遵守交接班制度，设备本班使用情况应记录在案并转告下一班操作人员；④管好工具、附件，不得遗失；⑤发现异常应立即停车检查，自己不能处理的问题应及时通知有关人员检查处理。

(3) 设备的使用要实行“定机、定人、定职责”的三定制度，凭证操作，严格实行岗位责任制。将设备交给操作工人，实行专人操作和维护，做到设备使用、维护和保管的职责落实到人。实行三定制度是一条行之有效的设备管理措施。它的一般原则是：单人使用的设备由操作者负责，多人使用的设备由班、组长或机长负责，公用设备由指定专人负责。

(4) 操作工人要严格遵守操作规程，合理使用设备。严禁超负荷、超规范使用设备。如遇现场的生产管理人员或上级强令操作工人超负荷、规范使用设备时，设备管理部门有权制止，操作工人有权拒绝，并可以越级上告。对违章指挥者应该追究相应的责任。

(5) 生产设备要严格执行日常维护和定期维护制度。日常维护是设备维护的基础工作，因此必须做到经常化、制度化和规范化。定期维护是在维修人员辅导配合之下，由操作工人进行的定期性工作。

在设备运行管理环节中必须强调规范的重要性。操作人员行为规范化是现代设备技术经济的特点提出的要求。只有各种使用维护规程与人员的岗位责任制相结合，并要求人员严格遵守设备的运行维护制度，才能保证设备系统正常的运行，维持企业各项活动的协调性。

5.1.2 设备运行管理的岗位责任制

1. 上岗条件

自然条件：根据操作设备的特点，对操作者的年龄、身体状况、文化水平等进行要求。

资格考试：要对操作者进行包括技术教育、安全教育和业务管理教育等方面的培训，使其熟悉设备的结构原理及性能；熟悉设备的操作规程、保养、点检及紧急事故的处理办

法；熟悉正确的润滑方法；熟悉设备的操作环境及设备本身的安全装置；熟悉设备上各种记录的填写，包括运行记录、交接班记录、设备润滑卡片、设备日常检查和定期检查卡片等。操作人员经教育、培训后要经过理论和实际的考试，合格并取得操作证后方能独立操作使用设备。

2. 岗位责任制

建立岗位责任制就是为了加强操作人员的责任心，加强岗位人员履行职责。由于设备不同，所以在岗位配备上也有所不同；单人单岗，多人多岗，群体混岗等现实中都存在。所以在制定岗位责任制时一定要做到职责明确、覆盖全部。通常岗位责任制的内容有以下几方面。

（1）上岗前要穿戴好劳动保护用品。

（2）参加班前会，领会当班工作事项，接受生产指令。

（3）对设备进行日常点检维护工作，并认真做好记录。

（4）按照要求定期做好设备的整理、整顿、清洁、清扫、安全等工作。

（5）看管好设备上的资料、工具等物品。

（6）认真执行交接班制度和填写交接班记录。

（7）参加所操作设备的修理和验收工作。

（8）设备出现异常时，要按照规定采取相应的措施，并及时反馈信息。

（9）对于因自身造成的设备事故，要如实说明经过，承担责任，吸取教训，接受考核。

3. 交接班制度

连续生产的设备不允许中途停机，可以在运行中交班，交班人需将设备运行中发现的问题详细地记录在“交接班记录簿”上，并主动向接班人介绍设备运行的情况，双方当面检查，交接完毕后在记录簿上签字。如果不能当面交接班，交班人可做好日常维护工作，使设备处于安全状态，填好交班记录交有关负责人签字代接，接班人若发现设备出现异常现象，记录不清、情况不明或设备未按照规定维护时可以拒绝接班。如因交接不清设备在接班后发生问题，由接班人负责。

企业在用的每台设备均须有“交接班记录簿”，且不准撕毁，涂改。车间或工区应及时收集“交接班记录簿”，从中分析设备现状，采取措施改进维修工作。设备管理部门负责人应注意抽查交接班制度的执行情况。

5.1.3　岗位技术规程

岗位技术规程是操作人员正确掌握设备操作运行技能的技术性规范，是指导工人安全、正确使用和操作维护设备的基本文件之一。其内容是根据设备的结构和运行特点，以及安全运行等要求，操作人员在其全部操作过程中必须遵守的注意事项。一般包括以下几点。

（1）操作前的安全要求。

（2）操作设备前对现场清理和设备状态检查的内容和要求。

（3）操作者必须使用的工具、器具。

（4）点检、维护的具体要求。

(5) 润滑的方式和要求。

(6) 停、送电程序。

(7) 作业时的操作程序和注意事项。

(8) 设备运行时的主要工艺参数。

(9) 安全防护装置的使用和调整要求。

(10) 常见故障的原因和排除方法。

(11) 交接班的具体工作和记录内容。

设备在运行过程中遵守以上的设备运行规则是设备进行正常、合理使用的前提，是设备运行管理中的重要规范，是延长设备寿命，充分发挥设备经济效益的基础，是工业企业基础技术管理的重要内容。

5.2 设备的功能分析与检查

设备的技术状态如何是依据功能检查得知的。通过功能检查可以判定是采取维护保养措施，还是要进行某种层次的修理(小修、中修和大修)，或者进行更新报废。所以，设备功能检查如医生对病人的诊断一样，是决定设备维修类别、维修项目和维修工作量的依据。

设备功能检查可根据不同的方式来进行分类。

(1) 按检查周期分为：随机检查和定期检查。

(2) 按检查项目分为：性能检查和精度检查。

(3) 按检查方法分为：停机静态检查和不停机动态检查。

(4) 按检查手段分为：一般检查和设备诊断仪器检查。

对于设备功能的状况，直接感知的是操作运行人员。所以，由操作运行人员对设备进行日常点检是设备维护的第一步，也是进行次数最频繁、信息最多最快的一种形式。点检是操作工按照编制的检查路线对设备进行定时(一般是 1～2h)、定点(规定的检查点)、定项(规定的检查项目)的周期性检查，它是设备稳定运行的重要措施之一。

检查一般采用主观检查法，即用听(听设备运转过程中是否有异常声音)、摸(摸轴承部位及其他部位的温度是否异常)、查(查设备及管路有无“跑、冒、滴、漏”和其他缺陷隐患)、看(看设备运行参数是否符合规定要求)、闻(闻设备运行部位是否有异常气味)的五字操作法，或者用简单仪器测量和观察在线仪表连续测量的数据变化。

日常点检主要包括设备的下列部位。

(1) 直接与产品质量有关的工作部位。

(2) 设备的保险、保护装置。

(3) 设备的调整、控制部位。

(4) 容易磨损的零部件。

(5) 容易堵塞、卡死和污染的部位。

(6) 在运行中应力状况最差的零部件。

(7) 设备功能状况的指示装置。

(8) 经常出现不正常现象的部位。

检查一般包括的内容有以下几点。

(1) 检查轴承及有关部位的温度、润滑及振动情况。

(2) 听设备运行的声音，有无异常撞击和摩擦声音。

(3) 看温度、压力、流量、液面等控制计量仪表及自动调节装置的工作情况。

(4) 检查传动皮带、钢丝绳和链条的紧固情况和平稳度。

(5) 检查冷却水、蒸汽、物料系统的工作情况。

(6) 检查安全装置、制动装置、事故报警装置、停车装置是否良好。

(7) 检查安全防护罩、防护栏杆、设备管路的保温、保冷是否完好。

(8) 检查设备安装基础、地脚螺栓及其他连接螺栓有否松动或因连接松动而产生的振动。

(9) 检查设备、工艺管路的静、动密封点的泄漏情况。

在点检中发现异常现象，操作人员不能迅速排除时，应及时报告车间和厂一级的专业维护人员，以便深入检查，采取防治措施。设备的定期检查是在点检基础上由专业检修人员为主进行的。

在设备功能的检查中，最重要的内容是精度检查。对机械设备进行精度检查并定量地予以评价是设备维护工作中的重要信息。由于在安装和使用过程中发生机械的磨损，原来测定的精度处于变化之中。因为影响磨损的因素很多，有些属于正常磨损，有些属于随机的偶发性因素造成的磨损，所以精度降低的规律性很难掌握，这样就使精度检查成为不可缺少的维护工作。

设备综合精度指标可用设备精度指数 T_m 表示

$$T_m=\sqrt{\frac{\sum(T_P/T_s)^2}{n}} \tag{5-1}$$

式中，T_m——精度实测值；

T_s——精度容许值；

n——测定精度的项目数。

上式 T_m 的值越小，则说明设备的精度值越高。反之，T_m 越大，设备的精度值就越低。在国外许多企业在设备验收时的精度取之范围是：新设备验收的条件 $T_m \leqslant 0.5$；大修后验收条件 $T_m \leqslant 1.0$。当 $2.0<T_m<2.5$ 时，设备应该进行修理；当 $T_m>3.0$ 时，设备需要大修或者进行更新。

上述的范围仅供参考，特别是机床设备以外的其他设备，应该有各个行业和企业从实践中总结的经验，总结出各自合适的精度指数范围。

5.3　设备的合理使用和维护

5.3.1　设备的合理使用

设备在使用过程中，由于受到各种力的作用和环境条件、使用方法、工作规范、工作持续时间长短等因素的影响，其技术状态会发生变化而逐渐降低工作能力。要想控制这一时期的技术状态变化，延缓设备工作能力下降的进程，最重要的措施就是合理、正确地使

用设备。设备的正确、合理使用，精心维护保养是工业企业设备管理工作中的重要环节，是延长设备寿命的客观要求，是充分发挥设备效能，提高设备利用率的基本条件。设备的使用管理是工业企业基础技术管理的重要内容。它与企业的生产管理、工艺管理等方面密切相关。

1. 合理配备设备

合理配备设备是指企业应根据生产经营目标和企业发展方向，按产品工艺技术要求的需要去配备各种类型的设备。

企业在全面规划、平衡和落实各单位设备配备时要以发挥设备的最大作用和最高利用效果为出发点。考虑主要生产设备、辅助生产设备、动力设备和工艺加工专用设备的配套性；要考虑各类设备在性能方面和生产率方面的相互协调，同时随着产品结构的改变，产品品种、数量和技术要求的变化，各类设备的配备比例也应随之调整，使其相互适应。

由于多品种、小批量、短生产周期是企业产品生产的必然趋势，所以配备设备时要注意提高设备工艺加工的适应性和灵活性。

2. 按设备技术性能合理地安排生产任务

企业在安排生产任务时必须注意到设备的结构、性能、精度、技术要求，以及使用的工作范围，要使工件的工艺要求与设备的使用规范相适应，切勿大机小用，否则不仅浪费能源，而且还难以达到工件的工艺精度要求；同时还要防止“精机粗作”，影响精密机床的寿命；严禁超载使用，否则不但会降低设备寿命，甚至还会造成设备和人身事故。因此，要使设备充分发挥其应有的作用，保证安全生产、文明操作，就应对设备合理地安排生产任务。

3. 加强工艺管理

设备技术状态完好与否是工艺管理和产品质量的先决条件，但工艺的合理与否又直接影响设备状态。工艺设计要合理，应严格按照设备的技术性能、要求和范围、设备的结构、精度等来确定加工设备。

4. 保证设备相应的工作环境和工作条件

要使设备能长期地正常运转，保持良好的性能、精度，延长寿命，保证安全生产，还需使设备处于良好的工作环境下工作。也就是要求周围环境整齐、清洁，并根据设备本身的结构、性能、精度等特性安装有防振、防腐、防潮、防尘、防冻、恒温、保暖等防护装置。此外，还须配备必要的测量、检测、控制、分析及保险用的仪器、仪表、安全保护装置。这对精密、稀有、复杂的国外进口贵重设备尤为重要。

5. 给设备提供及时、充分的物质保证

设备的正常运行有赖于物质保证，即能源、原材料、辅料、工具、附件、备件等方面的保障，其中任一环节出现问题都会导致设备运行的中止。所以，在设备使用前应制订各类物质消耗、库存定额及供应计划，保障各类物质的及时、充分供应。

6. 配备合格的设备操作人员，确保正确使用设备

1）实行岗前技术培训和凭证上岗操作

操作工人使用设备前必须进行技术培训和岗位职务培训，技术培训的目的在于使操作运行人员具有必要的文化技术素质，是一种基础培训。学习设备的结构、操作、维护和安全等基本知识，了解设备的性能和特点，同时进行操作技术学习和训练。岗位职务培训的目的是针对一定的设备、产品和生产条件进行专门训练，使操作运行人员熟知设备的结构、性能、原理、使用维护方法、产品在某台设备上所发生的变化及检验方法、设备的常见故障和安全操作规程等。实行考核和凭证操作制度是保证设备正确使用的基本要求。经理论学习和操作技术考核后发给操作证，凭证操作。

2）实行“定机、定人、定职责”

设备实行“定机、定人、定职责”就做到了设备使用、维护和保管的职责落实到人，是一条行之有效的设备管理措施。它的具体做法是：单人使用的设备由操作者个人负责；多人使用的设备由班、组长或机长负责；公用设备指定专人负责，在执行时注意负责人的相对稳定性。为了适应“一专多能”和组织生产的需要，允许操作工人同时申请操作几种不同类型和型号的设备，但需要经过理论学习和技术考核合格。

7. 建立健全设备管理规章制度

设备使用管理规章制度主要包括设备使用守则、设备操作规程、设备维护规程、操作人员岗位责任制等，建立健全并严格执行这些规章制度是合理使用设备的重要措施。

设备使用守则是指对操作工人正确使用设备的各项基本要求和规定。内容包括交接班制，使用设备的“四项要求”（整齐、清洁、润滑、安全），使用设备的“五项纪律”、“三好”（管理好、用好、修好设备）、“四会”（会使用、会维护、会检查、会排除故障）等工作内容。

设备的操作规程是指导操作工人正确使用和操作设备的基本文件，它包括设备的主要规格、加工范围、传动系统图、润滑图表、操作要领（通常指开动设备前准备，开启、停止的操作顺序及安全主要事项）、常见故障及其处理、紧急情况及其处理、维护保养等内容。

操作人员岗位责任制就是规定设备操作岗位的具体内容和职责，制定明确的考核标准。

8. 配备设备管理人员，以检查、督导设备合理使用

设立“设备检查员”，其职责是：负责拟定设备使用守则、设备操作规程等规章制度；检查、督导操作工人严格按照守则、操作规程使用设备；在企业有关部门配合下负责组织操作工人岗前技术培训；负责设备使用期信息的储存、传递和反馈。设备检查员有权对违反操作规程的行为采取相应措施，直至改正。由于设备检查员责任重大，工作范围广，技术性强，知识面宽，一般选择组织能力较强、具有丰富经验、具有一定文化水平和专业知识的工程师、技师担任。

5.3.2　设备的维护

通过擦拭、清扫、润滑、调整等一般方法对设备进行维护，以维持和保护设备的性能和技术状况，称为设备维护保养。设备维护工作是设备维护管理中的一个重要环节，是操作者的主要工作内容之一，因此要负一定的责任。特别是对关键设备的科学维护，直接关系到企业的经济效益和生产安全，因而对维护管理工作提出了更高的要求。

1. 设备维护的四项规定要求

(1) 整齐：工具、工件、附件放置整齐；工具箱、料架应摆放合理整齐；设备零部件及安全防护装置齐全；各种标牌应完整、清晰；线路、管道应安装整齐、安全可靠。

(2) 清洁：设备内外清洁，无黄袍、油垢、锈蚀，无铁屑物；各滑动面、齿轮无碰伤；各部位不漏油、不漏水、不漏气、不漏电；设备周围地面保持清洁。

(3) 润滑：按时、按质、按量加油和换油，保持油标醒目；油箱、油池和冷却箱应清洁，无铁屑杂物；油壶、油枪、油标、油嘴齐全，油毡、油线清洁；液压泵压力正常、油路畅通，各部位轴承润滑良好。

(4) 安全：实行定人定机和交接班制度；掌握“三好四会”的基本功，熟悉设备结构，遵守操作维修规程和“五项纪律”；合理使用，精心维护，监测异常，不出人身和设备事故，确保安全使用。不超负荷使用设备，设备的安全防护装置齐全可靠，及时消除不安全因素。

为提高设备维护水平，应使维护工作基本做到三化，即规范化、工艺化、制度化。

设备维护应按维护规程进行。设备维护规程是对设备日常维护方面的要求和规定，坚持执行设备维护规程可以延长设备寿命，保证安全、舒适工作环境。其主要内容应包括以下几方面。

(1) 设备要达到整齐、清洁、坚固、润滑、防腐、安全等作业内容，使用的工器具及材料达到标准或注意事项要求。

(2) 日常检查维护及定期检查的部位、方法和标准。

(3) 检查和评定操作工人维护设备程度的内容和方法等。

2. 设备维护的类别和内容

设备维护工作有日常维护和定期维护两类。

1) 日常维护

设备日常维护包括每班维护和周末维护两种，均由操作者负责进行。每班维护要求操作者在每班生产中必须做到：班前对设备各部位进行检查，按规定进行加油润滑。班中严格按照操作维护规程使用设备，时刻注意其运行情况，发现异常要及时处理。不能排除的故障应通知维修工进行检修，维修人员应在“故障修理单”上作好检修记录。下班前应对设备进行认真清扫擦拭，并将状况记录在交接班记录本上，办理交接班手续。

周末维护主要是指在周末和节假日前对设备进行较为彻底的清扫、擦拭和涂油，并按设备维护“四项要求”进行检查评定。

日常维护是设备维护的基础工作，因此必须做到经常化、制度化和规范化。

2) 定期维护

定期维护是在维修人员辅导配合之下，由操作人员进行的定期性工作。这是由设备主管部门以计划形式下达执行的任务。定期维护近似于小修，维护周期根据不同的设备来制定，一般为1～2月，或实际开动时达500h左右。定期维护的内容包括保养部位和重点部位的拆卸检查，对油路和润滑系统的清洗和疏通，调整各检查部位的间隙，紧固各部件和零件，以及对电气部件的保养维护等。

设备维护制度是设备管理中一项重要的软件工程，因行业、企业和设备而异。没有通用的，一成不变的模式。任何一种维护制度都要具有群众基础才能真正付诸实施。

5.3.3　现代设备管理的“6S”管理及 TPM 推进

1. 现代设备管理的“6S”管理

1)“6S”管理的内容

“6S 管理”由日本企业的 5S 扩展而来，在中国航空工业系统得到了广泛应用，取得了良好效果，是现代工厂行之有效的现场管理理念和方法。其作用是：提高效率，保证质量，使工作环境整洁有序，预防为主，保证安全。6S 的本质是一种执行力的企业文化，强调纪律性的文化，不怕困难，想到做到，做到做好，作为基础性的 6S 工作落实，能为其他管理活动提供优质的管理平台。“6S”管理为整理、整顿、清扫、清洁、安全、素养之总称。

(1) 整理(SEIRI)——将工作场所的任何物品区分为有必要与没有必要的，有必要的留下来，其他的都消除掉。目的：腾出空间，空间活用，防止误用，塑造清爽的工作场所，提高工作效率。推行方法：深切体会建立共识；工作场所，全盘点检；确定“需要”与“不需要”标准；不需要物品“红牌作战”(大扫除)；不需物品之处置，需要物品之使用频度调查。

(2) 整顿(SEITON)——将留下来的、必要的物品依规定位置摆放，并放置整齐加以标示。目的：工作场所一目了然，消除寻找物品的时间，创造整整齐齐的工作环境，消除过多的积压物品。推行方法：落实整理工作；决定置放场所；决定置放方法；划线定位；标示。

(3) 清扫(SEISO)——将工作场所内看得见与看不见的地方清扫干净，保持工作场所干净、亮丽。目的：提升作业品质，减少工业伤害。推行方法：落实整理工作；执行例行扫除清理污秽；调查排污的来源，彻底根除；废弃物置放区之规划；废弃物之处置；建立清扫基准，共同遵守。

(4) 清洁(SEIKETSU)——经常保持环境在美观的状态，维持上面 3S 成果。目的：创造干净明朗的现场环境。推行方法：落实前“3S”工作；设法养成干净的习惯；建立视觉化的管制方式；设定“责任者”制度加强执行；配合每日清扫做设备清洁点检；主管随时巡查，纠正带动气氛。

(5) 素养(SHITSUKE)——每位成员养成良好的习惯，并遵守规则做事，培养积极主动的精神(也称习惯性)。目的：培养有良好习惯、遵守规则的员工，营造团员精神，命令和纪律的贯彻实施。推行方法：落实持续推动前“4S”活动；建立共同遵守的规则或约束；将各种规划或约束目视化；实施各种教育训练；违反规则与约束应予纠正；接受指责纠正，立即改正。

(6) 安全(SECURITY)——发现安全隐患并予以及时消除或争取有效预防措施，重视全员安全教育，每时每刻都有安全第一观念，防患于未然。目的：建立起安全生产的环境，所有的工作应建立在安全的前提下。推行方法：常检查工作环境；严格按照作业指导书作业。

2) 实施“6S”的目的

(1) 运用“6S”的作法，彻底消除资源的浪费。

(2) 现场合理化，提高生产效率。

（3）不良率的降低，提高品质水平。

（4）创造一个舒适安全的工作环境。

“6S”最终目的是通过一系列的活动来提高人的素养，通过“6S”活动改善员工的精神面貌，使组织活力化，提高员工归属感。下面介绍的 TPM 的指导思想之一——“全系统”中的基础保养正是通过“6S”的清扫将故障的一个原因消灭。“6S”活动中整理、整顿的目的是美化工作场所，消除寻找时间，提高工作效率，进而提高设备的性能开动率，提高设备的综合效率。同样达到 TPM 指导思想之三——“全效率”。

生产行企业是通过设备及周边装置来进行产品生产，通过销售来获得利润的。因此，企业的主要工作就是：确保产品的需要者在需要时获得相应的产品数量，并保证所有的产品在出货时都是良品，也就是说，现场必须满足客户的数量、交期和品质这 3 个方面的要求。

在“6S”中通过整理、整顿保证生产者在需要时获得相应的物品数量，进而让产品的需要者——消费者获得相应的产品数量，并且在整理后的现场无不良品，进一步保证了产品的质量，保证了所有的产品在出货时都是良品。

3）生产中不良现象的分析

（1）仪容不整或衣着不整的工作人员。

① 有碍观瞻，影响工作场所的气势。

② 缺乏一致性，不易塑造团队精神。

③ 不易识别，妨碍沟通协调，对于一些特种作业易发生安全事故。

（2）机器设备摆放不当，保养不良。

① 增加搬运距离，使作业流程不顺畅。

② 不整洁的机器，影响工作士气。

③ 机器保养不良，使用寿命及机器精度直接影响生产效率，品质无法提升。

④ 故障多，减少开机时间，而且导致修理成本上升。

（3）原料半成品、成品、返修品、报废品随意摆放。

① 容易混料——浪费品质挑选工时问题。

② 要花时间去找要用的东西——效率问题。

③ 管理人员看不出物品有多少——计划与控制问题。

④ 容易造成积压——浪费场所与资金问题。

4）“6S”的推行办法

（1）成立推行组织，明确责任。

（2）规划。

（3）宣传，利用各种宣传手段，首先消除人员意识上的障碍。

（4）教育训练，一旦员工能够认知工作场所整洁及美化的必要性，就要针对以物料设备人员、方法、环境为对象进行培训教育。

（5）规划执行：将物料、设备、方法、环境及人员详加分析、观察，将问题具体化，将各责任区和有关负责人公布在看板上，并规划可行三对策付诸施行。

（6）检查评估。

2.“6S”管理案例

【江苏 XX 机械研制中心现场 6S 案例】

（1）项目背景：江苏 XX 机械研制中心是以研究、设计、制造、生产机构设备为主的研究机构，隶属江苏国资委。该中心地处常州市东郊，水陆交通便捷，全中心占地面积 136 亩，拥有固定总值 1860 万元。全厂现有职工 500 余人，各类专业技术人员 86 人，具有高级职称的工程技术人员 36 名。厂内工种齐全，设备配套检测设施完备，具有一定的规模生产能力。企业经历起步阶段、规范阶段、腾飞阶段 3 个阶段，目前正处于规范阶段。公司提出“告别过去，规范自我”的 6S 管理活动。

(2)诊断方式。

① 现场采访、交流、谈心等形式进行了解调查。

② 现场了解公司与 6S 管理活动要求之间的差距。

③ 将调查表内容和现场采访、交流、谈心等内容进行比较分析。

④ 针对公司各个运作系统，通过文件资料评估、相关人员面谈、现场考察了解企业现状，找出阻碍企业发展中的不流畅现象及与公司愿景的差距等。

（3）主要问题。

① 公司成立时间久，老员工多，观念陈旧，坏习惯多。

② 公司厂房陈旧，现场混乱，设施布局不合理。

③ 工作相互推诿、扯皮、拖沓、应付、无计划性、办事效率低。

（4）解决方案。

① 制订项目目标与计划。

② 开展项目实施过程中的调研。

③ 在项目过程中适时进行培训。

（5）实施效果。

① 项目过程中所提交的文件(共 56 份)。

② 现场管理有明显变化，安全、清洁、素养均有提高。

③ 全员掌握 6S 现场管理的推行步骤、实施要点和要领。

④ 全员《调查表》在初始调查的基础上提高了 10 个百分点。

3. 现代设备管理的 TPM 推进

英文 Total Productive Maintenance 的缩略语，中文译名叫全面生产维修，又译为全员生产维修。

是以提高设备综合效率为目标，以全系统的预防维修为过程，全体人员参与为基础的设备保养和维修管理体系。

TPM 强调五大要素，即：

——TPM 致力于设备综合效率最大化的目标；

——TPM 在设备一生建立彻底的预防维修体制；

——TPM 由各个部门共同推行；

——TPM 涉及每个雇员，从最高管理者到现场工人；

——TPM 通过动机管理，即自主的小组活动来推进。(PM) TPM 是全员生产维修英文缩写，即全体人员参加的生产维修、维护体制。TPM 要求从领导到工人，包括所有部门都参加，并以小组活动为基础的生产维修活动。TPM 涉及设备终生、各部位的维护保养及整个工作环境的改善，目的是提高设备的综合效率。

全员生产维修(TPM)的定义按照日本工程师学会(JIPE)有如下的定义：①以最高的设备综合效率为目标；②确立以设备一生为目标的全系统的预防维修；③设备的计划、使用、维修等所有部门都要参加；④从企业的最高管理层到第一线职工全体参加；⑤实行动机管理，即通过开展小组的自主活动来推进生产维修。

1）TPM 的五大支柱

(1) 最高的设备综合效率。

(2) 设备终生全系统的预防维修。

(3) 所有部门都参加。

(4) 从最高管理层到工人全体参加。

(5) 实行动机管理，即通过小组活动推进生产维修。

2）TPM 的 3 个“全”

全员、全系统、全效率。3 个“全”之间的关系是：全员是基础；全系统是载体；全效率是目标。还可以用一个顺口溜来概括：TPM 大行动，空间、时间、全系统，设备管理靠全员，提高效率才成功。

3）TPM 要达到的 3 个目的

(1) 提高设备的综合效率。

(2) 建立一套严谨的、科学的、规范化的设备管理模式。

(3) 树立全新的企业形象。

4）设备的“六大损失”

设备的“六大损失”为设备故障、安装与调整、空转与短暂停机、减速、加工废品、试运行减产。

5）TPM 的“5S”

(1) 整理——取舍分开，取留舍弃。

(2) 整顿——条理摆放，取用快捷。

(3) 清扫——清扫垃圾，不留污物。

(4) 清洁——清除污染，美化环境。

(5) 素养——形成制度，养成习惯。

6）优秀 TPM 小组活动的标志

(1) 每个成员都能积极地提出合理化建议。

(2) 每个成员都能自觉、自主地参加“5S”活动。

(3) 每个成员都能熟练地掌握设备管理现场标准化作业程序。

(4) 每个成员都能自觉地进行自我检查和评估。

(5) 小组具有自主维修能力。

7）TPM 的三圈闭环循环

TPM 活动通过对现行状态的评估找出问题与不足，制订改善措施，建立标准化体系，从而使设备状态不断改进形成状态循环图。TPM 通过设备综合效率的计算，度量管理的进步形成度量循环图。TPM 分析六大损失的程序和专题技术攻关，以求减少六大损失，达到设备最佳运行状态，形成改善措施循环图。以上 3 个循环形成一个闭环，使 TPM 进入一个良性发展，循序渐进。

其具体含义有下面 4 个方面。

(1) 以追求生产系统效率(综合效率)的极限为目标。

(2) 从意识改变到使用各种有效的手段构筑能防止所有灾害、不良、浪费的体系，最终构成“零”灾害、“零”不良、“零”浪费的体系。

(3) 从生产部门开始实施，逐渐发展到开发、管理等所有部门。

(4) 从最高领导到第一线作业者全员参与。

TPM 活动由“设备保全”、“质量保全”、“个别改进”、“事务改进”、“环境保全”、“人才培养”这 6 个方面组成，对企业进行全方位的改进。

从理论上讲，TPM 是一种维修程序，它与 TQM(全员质量管理)有以下几点相似之处。

(1) 要求将包括高级管理层在内的公司全体人员纳入 TPM。

(2) 要求必须授权公司员工可以自主进行校正作业。

(3) 要求有一个较长的作业期限，这是因为 TPM 自身有一个发展过程，贯彻 TPM 需要约一年甚至更长时间，而且使公司员工从思想上转变也需要时间。

TPM 将维修变成了企业中必不可少的和极其重要的组成部分，维修停机时间也成了工作日计划表中不可缺少的一项，而维修也不再是一项没有效益的作业。在某些情况下可将维修视为整个制造过程的组成部分，而不是简单地在流水线出现故障后进行，其目的是将应急的和计划外的维修最小化。

TPM 起源于“全员质量管理”。TQM 是 W·爱德华·德明博士对日本工业产生影响的直接结果。德明博士在二战后不久就到日本开展他的工作。作为一名统计学家，他最初只是负责教授日本人如何在其制造业中运用统计分析，进而如何利用其数据结果在制造过程中控制产品质量。最初的统计过程及其产生的质量控制原理不久受到日本人职业道德的影响，形成了具有日本特色的工业生存之道，这种新型的制造概念最终形成了众所周知 TQM。

当 TQM 要求将设备维修作为其中一项检验要素时，发现 TQM 本身似乎并不适合维修环境。这是由于在相当一段时间内，人们重视的是预防性维修(PM)措施，多数工厂也都采用 PM，而且通过采用 PM 技术制订维修计划以保持设备正常运转的技术也已成熟。然而在需要提高或改进产量时，这种技术时常导致对设备的过度保养。它的指导思想是：“如果有一滴油能好一点，那么有较多的油应该会更好”。这样一来，要提高设备运转速度必然会导致维修作业的增加。

而在通常的维修过程中，很少或根本就不考虑操作人员的作用，维修人员也只是就常用的并不完善的维修手册规定的内容进行培训，并不涉及额外的知识。

通过采用 TPM，许多公司很快意识到要想仅仅通过对维修进行规划来满足制造需求是远远不够的。要在遵循 TQM 原则的前提下解决这一问题需要对最初的 TPM 技术进行改进，以便将维修纳入到整个质量过程的组成部分之中。

现在，TPM 的出处已经明确。TPM 最早是在 40 多年前由一位美国制造人员提出的。但最早将 TPM 技术引入维修领域的是日本的一位汽车电子元件制造商——Nippondenso 在 20 世纪 60 年代后期实现的。后来，日本工业维修协会干事 Seiichi Naka jima 对 TPM 作了界定，并目睹了 TPM 在数百家日本公司中的应用。

在开始应用 TPM 之前应首先使全体员工确信公司高级管理层也将参与 TPM 作业。实施 TPM 的第一步则是聘请或任命一位 TPM 协调员，由他负责培训公司全体员工 TPM 知识，并通过教育和说服工作使公司员工们笃信 TPM 不是一个短期作业，不是只需几个

月就能完成的事情，而是要在几年甚至更长时间内进行的作业。

一旦 TPM 协调员认为公司员工已经掌握有关知识并坚信 TPM 能够带来利益，就可以认为第一批 TPM 的研究和行动团队已经形成。这些团队通常由那些能对生产中存在问题部位有直接影响的人员组成，包括操作人员、维修人员、值班主管、调度员乃至高层管理员。团队中的每个人都是这一过程的中坚力量，应鼓励他们尽其最大努力以确保每个团队成员成功地完成任务。通常这些团队的领导一开始应由 TPM 协调员担当，直到团队的其他成员对 TPM 过程完全熟悉为止。

行动团队的职责是对问题进行准确定位，细化并启动修复作业程序。对一些团队成员来说，发现问题并启动解决方案一开始可能并不容易，这需要一个过程。尽管在其他车间工作可能有机会了解到不同的工作方法，但团队成员并不需要这样的经验。TPM 作业进行得顺利与否，在于团队成员能否经常到其他合作车间，以观察对比采用 TPM 的方法、技术及 TPM 工作。这种对比过程也是进行整体检测技术(称为水准基点)的组成部分，是 TPM 过程中最宝贵的成果之一。在 TPM 中，鼓励这些团队从简单问题开始，并保存其工作过程的详细记录。这是因为团队开始工作时的成功通常会加强管理层对团队的认可。而工作程序及其结果的推广是整个 TPM 过程成功的要诀之一。一旦团队成员完全熟悉了 TPM 过程，并有了一定解决问题的经验后，就可以尝试解决一些重要的和复杂的问题。

成功实施 TPM 的公司很多，其中包括许多世界驰名公司，如：福特汽车公司、柯达公司、戴纳公司和艾雷·布雷德利公司等。这些公司有关 TPM 的报告都说明了公司实施 TPM 后生产率有显著提高。尤其是柯达公司，它声称自公司采用 TPM 技术后，获得了 500 万比 1600 万的投入产出比。另一家制造公司则称其冲模更换时间从原来的几小时下降到了 20 分钟。这相当于无需购买就能使用两台甚至更多的、价值上百万美元的设备。得克萨斯州立大学声称通过研究发现，在某些领域采用 TPM 可以提高其生产率达 80%左右。而且这些公司均声称通过 TPM 可以减少 50%甚至更多的设备停机时间，降低备件存货量，提高按时交货率。在许多案例中它还可以大幅减少对外部采办部件，甚至整个生产线的需求。

TPM 是全员劳动生产率的保持，目的是在各个环节上持续不断地进行改善。

4．TPM 实施步骤及案例解析

1）TPM 实施步骤

TPM 由“设备保全”、“质量保全”、“个别改进”、“事务改进”、“环境保全”、“人才培养”这 6 个方面组成，对企业进行全方位的改进。

2）案例分析

(1) 项目背景：江苏某纺织企业有员工 600 多名，因为企业面临的竞争越来越激烈，该企业一直关注 TPM，所以从日本企业的 TPM 认识到它和质量、设备及生产流程的关系，知道 TPM 是企业整体管理水平提升的有力武器。2006 年，公司决定全面导入和推进 TPM 活动。

(2) 现场诊断：TPM 导入前，对该企业进行了基本调研，基本内容包括组织构架和权责分工；生产工艺流程；主要设备；关键流程和环节；设备运行、管理状况；质量、成本、异常控制等原始记录。

(3) 解决方案：①成立 TPM 推进委员会，公司从车间、设备、质量、管理等部门抽

调积极分子担任推行干事，全面代表公司推行各部门 TPM；②培训先行，对公司领导层、管理层、实施层、推行骨干等分批做了针对性的培训，使各层次人员理解 TPM 并在自己的岗位上发挥应有的作用；③选择样板，由点到面，顾问和 TPM 委员经过充分的调研和讨论，最后选择液体填充和包装生产线为样板先行一步，大家经过亲自实践，慢慢掌握 TPM 的精髓和方法后，再向所有部门展开。

（4）项目收益：历时 6 个月的首期项目结束后，企业年终报告里评价如下，随时生产出无缺陷的优质产品；生产周期压缩为一周内；生产成本稳定；客户满意度为 100%。

3）海尔推进全员参与 TPM 活动的具体做法

全员参加是实施 TPM 的基础，是实施 TPM 的切入点和重心。在中国，著名的家电企业海尔就是成功实施全员参与 TPM 活动的典型。海尔主要是通过目标管理、团队活动、日常活动等方式来推行 TPM 活动的。

（1）TPM 目标管理。TPM 的目标管理是“自上而下”的目标管理体系，通过找准问题、明确方向和课题、确定改进目标，然后将目标层层分解直到各基层部门尤其是生产现场，形成公司自上而下针对目标实施合力。

生产现场等基层部门围绕 TPM 目标建立全员参与模式，对问题进行深入分析，寻找解决问题的措施和对策，通过有明确目的、全员参与的专题活动不断改进和提高效率等以完成目标。

在海尔，通过对目标进行层层分解，对过程进行每一环节指导与控制，对结果进行具体的量化考核，强化了全员参与意识，加强了基础管理工作。通过将目标下放，高层管理人员就不再为每天必须为工人如何操作之类的细节性问题操心，而是可以腾出精力来考虑战略问题分析和发展方向思考。

为了将目标落实下去，海尔集团在现场推行可视化管理，各部门将各自的一二级目标通过管理看板上墙。将“分月度目标值”和“实际完成值”以图表的形式公开展示在看板上，并附加主要措施，然后将完成结果也进行看板展示。管理人员通过目标与实际的比较进行讲评分析，交流推介好的经验，解剖分析差的原因，并将改进结果作为下一个月考核的重点，如此循环推进。

在生产现场有各种管理看板，大到公司远景口号、公司战略与经营目标，中到生产目标、质量方针、车间方针与目标，小到班组及个人目标等一应俱全。其中车间现场管理方面的看板具体形式包括：设备点检表、作业指导书、小组活动板、各种趋势图等，还有员工个人风采展示等。

（2）日常 TPM 活动。海尔的生产一线员工在日常工作中树立“我的设备我保养”、“我的区域我清扫”意识，对生产现场的设备与环境进行保护、维持和管理。

具体来说是通过对设备基本条件(清扫、加油、紧固等)的整备和维持，对使用条件的遵守，零部件的更换，劣化的复原与改善，以培养熟悉设备并能够驾驭设备的操作能手为目标，循序渐进展开的现场自主保养活动。

生产线员工通过定期进行一些诸如紧固、加油、清扫和点检活动，不但保养了设备，而且可以感知设备和工艺异常，这样他们就可以及早采取对策，避免故障或不良情况的发生。

当然，海尔在强调生产线员工自主保养的同时，并没有削弱设备检修部门的工作，相反为设备检修人员腾出更多的时间和精力，使他们能够像医生一样开展如定期检查(医生的定期诊断)、早期修理(医院的早期治疗)等工作，从而最大限度地提高设备和生产综合效率。

（3）TPM 设备效率改善活动。在海尔，为倡导全员参与，将 QC 小组活动与 TPM 活动有机结合起来，组成设备焦点改善小组，紧紧围绕 TPM 目标和设备效率问题，通过有组织的活动达成改善目标。

TPM 团队活动的程序是 PDCA 循环，并要求将每次活动所取得的阶段性成果形成标准化文件，这样使得创新成果固化为日常行为规范。

TPM 焦点改善的课题主要围绕改善设备的综合效率，减少效率损失展开，具体方向包括：减少设备故障、设备点点停、设备造成产品不良等，尤其是将重点放在重复性故障的发生上。

在基层，TPM 小组利用活动看板来记载活动目标、活动计划、活动过程及活动成果。

高层和中层小组利用 TPM 现场诊断(小组审查)察看现场，与员工进行充分沟通，从而根据调查情况提高决策的准确性。

海尔开展“节拍经理”、“设备远程诊断”、“维修工人星级技能评定”、“外聘尖端技术维修专家”等专门性活动，着重解决生产设备的节拍和生产保障，以设备的高效率保证产品订单的响应速度等。

通过“TPM 活动小组”、“集团内部技术专家评定”、“设备绿色机台评选”、“资源存折”等活动推行提高设备的综合效率，使整个集团的整体维修水平和管理水平得到提高。

（4）OEC 活动与 TPM 活动的结合。OEC 管理是海尔独创的一套管理理论，简称为日清管理。O(Overall)意为“全面的”；E(Everyone，Everything，Everyday)意为“每个人、每件事、每一天；C(Control and Clear)意为“控制和清理”。含义是全方位地对每个人每一天所做的每件事进行控制和清理，做到“日事日毕，日清日高”，今天的工作今天必须完成，今天的效果应该比昨天有提高，明天的目标要比今天的目标高。

TPM 强调全员参与，OEC 强调每个人、每件事，它们的基本出发点是一样的。所以，在海尔引进 TPM 活动之后，就迅速将 TPM 和已经开展的 OEC 活动结合起来了。

通过 OEC 管理法将所有的设备保养目标分解到每个人身上，每个人的目标每天都有新的提高，这样就可以使整个设备保养工作有条不紊地、不断地进行。

海尔每个员工都有一张“3E 卡”（Everyone、Everyday、Everything）。每个员工干完当天的工作后填写卡片，填写完之后，其收入就跟这张卡片直接挂钩。

这张日清卡使海尔将整个的工作大目标分解落实到每个人身上。比方说海尔的冰箱共有 56 道工序，545 个责任区，这都落实到每个人。

海尔的冰箱仓库共有 964 块玻璃，每一块玻璃都有责任人，这就使得整个质量得到了保证。

所以，在海尔全员参与 TPM 不是一句空洞的口号，而是实实在在的行为，变成了效益。海尔的 TPM 与 OEC 管理的结合是海尔 TPM 活动的基础管理模式。

5.4　设备的磨损及润滑管理

5.4.1　摩擦与磨损

要理解磨损这个概念，就要先了解摩擦这个概念。所谓摩擦是指当两个物体表面接触

并发生相对运动时，接触表面会由接触点弹塑性变形的存在而产生的这种阻止相对运动的效应。根据摩擦的概念可知产生摩擦的原因主要有两个：即表面不平和运动受阻。摩擦将会影响和干扰系统的运动和动力特性，使系统部分能量转换成热量、噪声等。

根据接触表面润滑的情况，摩擦可以分为干摩擦、半干摩擦和液体摩擦 3 种形式。零件相互摩擦，其接触表面产生尺寸、形状和表面质量变化的现象叫做磨损。磨损是设备或者部件等失效最主要的原因之一。

对于机械零件来说，正常工作中的磨损一般分为 3 个阶段，如图 5.2 所示。

（1）跑合阶段。

（2）稳定磨损阶段。

（3）剧烈磨损阶段。

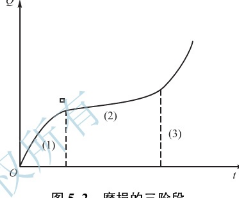


图 5.2　磨损的三阶段

磨损是伴随摩擦而产生的。磨损按照产生机理可以分为以下几种。

（1）粘附磨损。这种是直接相互接触的运动副表面发生摩擦过程中产生的磨损。

（2）磨料磨损。这是两物体表面作相对运动时由于存在硬的物质颗粒使较软的金属表面造成的磨损。

（3）表面疲劳磨损。两接触表面做滚动或滚动滑动复合摩擦时，在交变接触压应力作用下，材料表面因疲劳而产生微观裂纹并分离出磨粒或碎片造成物质损失的现象。

（4）腐蚀磨损。金属表面在摩擦过程中与周围的介质发生化学反应或者电化学反应而产生的磨损。

摩擦学是设备润滑工作的理论基础。新兴的机械工程学科将专门研究摩擦和磨损的机理，提出科学的润滑方法，降低设备的磨损，提高设备的使用年限。摩擦是现象，磨损是结果，润滑是控制摩擦、磨损的有效手段。

5.4.2　润滑管理

1. 润滑的概念机理

通常将发生相对运动的各种摩擦副的接触表面之间加入润滑剂，从而使摩擦面之间形成一层润滑膜，将原来直接接触的摩擦面分离，变干摩擦为润滑剂分子之间的摩擦，达到减少摩擦，减小磨损，延长设备使用寿命的技术叫做润滑。实际上，从广义上来说润滑是一种减少摩擦和磨损的技术，它不仅包括使用润滑剂，还包括对摩擦副材料的表面改性，以及采用具有自润滑的摩擦副材料等技术。

润滑剂能够牢固地吸附在机器零件的摩擦面上，形成一定厚度的润滑膜。当摩擦副被润滑膜隔开时，它们在作相对运动时就不会直接接触，使两摩擦副之间的摩擦转变成润滑剂本身的内摩擦。这样，摩擦系数大大减少，达到减少摩擦、磨损的目的。

润滑的机理如下。

（1）液体润滑。油膜能完全将摩擦表面隔开，以液体摩擦代替干摩擦，这种状态称之为液体润滑，是最理想的润滑状态。

（2）油性添加剂。油性添加剂是一些极性分子，它们能依靠分子间应力牢固地吸附在

金属表面上，形成一层或几层分子厚度的吸附膜。

（3）极性添加剂。极性添加剂是一些含有 S、P、Cl 元素的有机化合物，在高温高压下能和金属表面发生化学反应，形成一层化学膜，起到减小摩擦系数、防止金属烧结的作用。

2. 润滑的分类

在实际的生产中，润滑的分类方式有多种，下面介绍几种常用的润滑分类方法。

（1）根据润滑膜在摩擦副表面的润滑状态分为：干摩擦、流体润滑、边界润滑和混合润滑。

（2）根据摩擦表面间所产生压力膜的条件分为：液体或气体动力润滑和液体或气体静压润滑。

（3）根据润滑剂的物质形态分为：气体润滑、液体润滑、固体润滑和半流体润滑。

3. 设备润滑的作用

在机械设备摩擦副的相对运动的表面加入润滑剂的目的主要是降低摩擦阻力和能源消耗，减少表面磨损，延长设备的使用寿命，保证设备的正常运转。具体来说，润滑的具体作用有以下几个方面。

（1）降低摩擦。在摩擦副表面加入润滑剂后形成的润滑膜将摩擦表面分离，使金属表面间的摩擦转化成为具有较低抗剪切强度的油膜分子之间的摩擦，从而降低摩擦阻力和能源消耗并使摩擦副平稳运转。

（2）减少磨损。润滑的基本作用是通过产生的润滑膜避免或减少两运动件之间的摩擦，降低零件的磨损消耗，保持零件的配合精度。

（3）冷却降温。摩擦表面的长时期摩擦会导致摩擦面发热，若没有冷却装置，势必烧坏橡胶密封圈、轴瓦或轴承等机械零件，温度升高还可能导致粘着磨损和加剧腐蚀磨损，造成设备事故而停产。采用适当的润滑方式就可以带走热量，起到有效的冷却作用，保护了设备。

（4）防止腐蚀。摩擦表面的润滑剂膜覆盖在摩擦面上有隔绝空气、水蒸汽及其他腐蚀性气体的作用，可以防止摩擦表面被腐蚀或生锈。

（5）密封保护。润滑油和润滑脂能够隔离潮湿空气中的水分、氧和有害介质的侵蚀，对某些外露零部件形成密封，防止冷凝水、灰尘和其他杂质入侵，并使汽缸和活塞之间保持密封状态，这对于腐蚀磨损比较突出的冶炼厂、化工厂和矿山设备尤为重要。对于动力机械的气缸与活塞，润滑油既能起到润滑减摩作用，而且还有增强密封的效果，使其在工作中不漏气，提高工作效率。

（6）传递作用力。某些润滑剂(如液压油)可以作为力的传递介质，将冲击振动的机械能转变成液压能。

（7）减振作用。吸附在金属表面的润滑剂由于本身的应力小，在摩擦副受到冲击时能够吸收部分冲击振动的机械能，起到减振、缓冲的作用。

（8）洗涤污垢。摩擦副在运动时产生的磨粒或外来的杂质、尘砂等都会加速摩擦表面的磨损。强制的液体循环润滑可以将摩擦表面间的磨粒带走，从而减少或避免磨粒磨损。

（9）绝缘作用。矿物油等润滑剂有很高的电阻，因此可作为电绝缘油、变压器油。

4. 润滑管理的目的和内容

润滑管理的目的如下。

(1) 使设备得到正确合理的润滑，保证设备正常运转，防止事故发生。

(2) 延长设备使用寿命，减少事故与故障发生。

(3) 减少摩擦阻力、机件磨损和能源消耗。

(4) 防止设备跑、冒、滴、漏，采取一系列治漏措施，合理润滑、节约用油、避免浪费。

(5) 提高设备的生产效率和产品加工精度，保证企业获得良好的经济效益。

(6) 在条件允许的情况下，以国产油品代替进口油，使进口设备用油尽快国产化，减少对进口油品的依赖。

润滑管理的内容包括：运用摩擦学原理正确实施润滑技术管理和润滑物资管理。润滑技术管理的重点是对设备的故障采取早期预防和对已发生的润滑故障采取科学的处置对策。具体做法：分析润滑故障的表现形式和原因，对润滑故障进行检测和诊断，对润滑故障从摩擦副材质、润滑油(脂)质量分析、润滑装置和润滑系统等多方面采取对策。此外润滑技术管理还包括摩擦副的信息管理、在润滑剂品种汇总统计，编制供应、按质换油等计划，防止润滑剂污染的管理，防止润滑剂泄露的管理，制定相关工程技术人员和工人的摩擦学教育培训等。润滑物资管理是指润滑剂的正确采购、科学验收、正确保管与安放、废油回收和再生处理。

5. 运动副的润滑方式

运动副的润滑方式有：循环供油润滑，间歇加油润滑，油芯、油毡、油标的滴油润滑，飞溅、油雾润滑，以及油脂集中或分散润滑等。显然，润滑方式与润滑剂的选择很有关系。选择时要考虑摩擦面的运动速度；载荷的大小、方向及性质；工作温度；工作环境；运动副的材料、间隙、位置、表面粗糙度等。

6. 合理润滑的基本要求

(1) 根据摩擦副的工作条件和作用性质选用适当的润滑材料。

(2) 根据摩擦副的工作条件和作用性质确定正确的润滑方式和润滑方法，设计合理的润滑装置和润滑系统。

(3) 严格保持润滑剂和润滑部位的清洁。

(4) 保证供给适量的润滑剂，防止缺油及漏油。

(5) 适时清洗换油，既保证润滑又要节省润滑材料。

7. 润滑管理的基本要求

做好润滑工作是全员设备管理的重要一环。润滑管理的组织机构是否健全是润滑管理工作能否顺利进行的关键。这一工作要由操作运行人员与专业维修人员共同努力、互相配合才能做好。

润滑管理的基本要求有以下几点。

(1) 建立健全的润滑管理组织和规章制度。

(2) 编制设备润滑技术资料(润滑系统图，清洗换油操作规程，润滑剂的种类、标准、检验、定额及换油周期等。

(3) 编制设备系统中各台设备的清洗换油计划。

(4) 润滑状态的日常检查。

（5）润滑事故的处理。

（6）废油脂的回收和再生利用。

（7）新的润滑剂和润滑技术的学习和推广。

我国普遍实行“五定、三过滤”管理制度，要求润滑工作要定员、定质、定量、定期、定人；领油、转桶和加油时坚持过滤措施。

对润滑材料的管理要严格，油库做好化验、保管、防火、收发、回用等各种工作。

8. 润滑管理的基本任务

（1）确定润滑管理组织，拟定润滑管理的规章制度、岗位职责条例和工作细则。

（2）贯彻设备润滑工作的“五定”管理。

（3）编制设备润滑技术档案，指导设备操作工、维修工正确开展设备的润滑。

（4）组织好各种润滑材料的供、储、用。抓好油料计划、质量检验、油品代用、节约用油和油品回收等几个环节，实行定额用油。

（5）编制设备年、季、月份的清洗换油计划和适合于本厂的设备清洗换油周期结构。

（6）检查设备的润滑状况，及时解决设备润滑系统存在的问题。如补充、更换缺损润滑元件、装置、加油工具、用具等，改进加油方法。

（7）采取措施，防止设备泄漏，总结、积累治理漏油经验。

（8）组织润滑工作的技术培训，开展设备润滑的宣传工作。

9. 润滑管理的意义

（1）维持设备的正常运转，防止事故的发生，降低维修费用，节省资源。

（2）降低摩擦阻力，改善摩擦条件，提高传动效率，节约能源。

（3）减少机件磨损，延长设备的使用寿命。

（4）减少腐蚀，减轻振动，降低温度，防止拉伤和咬合，提高设备的可靠性。

5.5　设备维护的技术经济指标

从企业的某个部门、车间来说，设备维护工作的好坏主要反映在经济效益指标上。这里有两个计算公式，可用来考核某个部门、某个车间的设备维护是否达到预期的目标。

$$\text{设备维修效益}=\frac{\text{产品生产量}}{\text{设备维修费用}} \tag{5-2}$$

$$\text{设备综合效益}=\frac{\text{设备寿命周期内的输出}}{\text{设备寿命周期费用}} \tag{5-3}$$

设备部件修理的经济效益可按下式计算

$$VTR>CN-CR \tag{5-4}$$

式中，VTR——缩短生产线停歇天数所获得的生产利润；

CN——新部件的价格；

CR——修复原有部件的费用。

更换下来的设备在设备维修竣工后再进行修复，重复使用，经济效益更好。

修换件明细表的准确性在设备修理完毕后可用“命中率”来衡量，“命中率”的计算

公式如下

$$命中率=\left(\frac{B}{A}-\frac{C}{B+C}\right)\times 100\% \tag{5-5}$$

式中，A——修换件明细表中零件的总价格；

B——修换件明细表中实际被使用的零件总价格；

C——实际修换的零件中未列入修换件明细表的零件总价格。

实际修换的零件总价格中不包括易损件、常备件和临时制造的(或采购的)结构简单且加工工序少的零件。

通常，“命中率”按零件的种数或件数计算。考虑到重要零件和使用量多的零件在实际修换零件总价格中所占的比重较大，而且修换件明细表中漏提重要零件会给维修造成的影响较大，因此，以价格计算“命中率”更为合理。

提高设备维修经济效益的主要途径如下。

(1) 从设备寿命周期费用最经济的角度出发，购置节能性、可靠性、维修性好的新设备，不要只注意一次性投资的大小，而要综合考虑设备运转过程中各项费用的支出。

(2) 要告诫设备的操作者，在设备的使用过程中要正确操作，精心维护保养，避免非正常的磨损和损坏。

(3) 实施科学的维修管理，选定最适宜的维修方式及相应的技术措施，使维修效果最佳化。

(4) 运用状态监测及故障诊断技术，早期发现故障，适时进行维修。

(5) 合理选择修理方法，努力运用新技术、新工艺、新材料进行改善性修复，延长零件使用寿命，提高修理工效，减少停机损失。

(6) 积极、慎重地对设备进行改造，提高设备的可靠性和维修性。

(7) 加强设备维修费用管理，包括加强劳动管理、工时管理、材料和备件管理，节约能耗，健全财务制度，健全维修经济责任制和奖惩制度等。

5.6　设备维修策略与计划

5.6.1　设备的维修模式

所谓设备的维修模式是指在适当的时机对适当的维修对象(设备、设施、零部件)实施适宜的维修措施(维护、检查或修理)的模式。从目前世界各国企业采用的情况来看，主要有以下3种。

1. 计划(预防)维修模式(PM)

计划性维修作为一种预防性的维修制度，从20世纪50年代以来，在工业企业普遍推广使用，对保证设备处于良好状态取得了较好的效果。设备计划维修的方法有以下几种。

(1) 标准维修法，即强制维修法。对于那些必须严格保证安全运转的设备常采用此法。这种维修方式对设备的维修日期、类别和内容预先制订具体的计划。不管设备在运转中的技术状态如何都必须严格按照原计划规定进行。

(2) 定期维修法。这种方法是根据设备的使用情况、参考有关的检验周期制订设备维修工作的计划日期和大致的维修工作量。确切的工作安排则是根据维修前的准备再做详细的规定。

(3) 检查后维修法。此法事先只规定设备的检查计划，根据检查的结果和以前的维修资料确定维修的日期和内容。

计划维修方式一方面可以及时地恢复设备的工作能力，预防可能发生的事故；另一方面可以事先安排好设备的使用和检修时间，做好维修所需的人、财、物等；同时可以缩短维修时间，提高维修质量。

2. 设备诊断技术与状态模式(CBM)

与传统检查相对，设备诊断技术由依靠人员的感官判断发展到大量采用先进的科学仪器、仪表；由人工测试发展为在设备运转中由电子仪器显示；由高级技术工人承担发展为由既科学又方便的仪器、仪表承担检测，一般设备的操作者也能承担；由在停机情况下检测发展到运转时直接检测；检测的目的由检测磨损、腐蚀、预防故障发展到预测设备的自然寿命。目前，该技术已经发展为系统的设备维修管理方法，可以对整套设备的单个零件、主要部件进行检测，也可以对整套设备进行检测。设备状态检测维修是根据设备的日常监测、定期检查、状态检测和诊断提供的信息，经统计分析处理，来判断设备的劣化程度，并在故障发生前有计划地进行适当的维修。设备状态维修被公认为设备维修方式中效率最高的一种。采用设备状态维修可以及时掌握故障隐患并及时地消除，从而提高设备的完好率和利用率，提高设备的维修工作量和节省各种费用，提高总体效益。

3. 事后维修方式(BM)

事后维修法即故障维修法，也就是坏了再修、不坏不修的工作方法。这种方法只适合数量多、一般的设备。不同设备的维修模式对比见表 5－1。

表 5－1　不同设备维修模式的对比分析

维修模式	优　　点	缺　　点
事后维修	最大限度地利用零部件的有效寿命	易导致事故发生
预防维修	较好的可靠性、安全性、计划性	易发生过维修现象
状态检测维修	较好的有效性和计划性	初期投资大、成本较高

5.6.2　设备维修策略选择

任何单位都有数量不等、型号不一的设备。有些设备复杂，有些设备简单。大中型企业的设备数量大、品种多。随着企业生产技术水平的进步，所拥有的设备种类越来越多，技术性越来越强。不同设备的使用环境不同、故障率曲线不一样，进行设备维修时应根据设备的重要性采取相应的维修策略。

一般来说，企业的规模越大，设备的数量就越多。大、中型企业所拥有的设备数量非常多。不同的设备在企业的运行生产过程中所起的作用是不一样的，所采用的维修方式也不一样。在制定机器设备维修策略时首先应对设备的重要性进行分类，分类的方法有很多，其中 ABC 分类法就是一种最常用的、较好的方法。在一个单位中 A 设备的数量少，所

起的作用大，大约占总数的 10%左右。这类设备流程工艺复杂，是企业生产过程中的关键设备。一旦这些设备发生故障，将会造成严重的经济损失，对企业生产产生较大的影响，因此要求这类设备在运行过程中要有很高的可靠性。这类设备应该是设备维修的重点对象。对这些关键设备应从维修的经济性出发选择合理的维修方式。这类设备最好采用状态维修方式，变计划维修为针对性维修，这样可以使维修的工作量和维修费用大幅度降低，实现少投入多产出的效果。如果没有相应的诊断设备，或者状态维修方式费用太高，技术经济分析的结果不适合，企业无法承受，则应该采取标准维修法，也可以采取定期维修法。

此外，可以根据设备故障信息的统计结果选择合理的维修方式。在对企业的 B 类和 C 类设备进行维修时，应该根据设备故障信息选择合适的维修方式。对这些设备来说，故障信息是决定维修方式的基础。通过对故障信息的分析可以判断设备的故障类型，从而选择维修方式。设备的故障信息主要包括设备的故障次数(停机频率)和故障后果(停机时间长短，经济损失等)这两方面的资料。收集一段时间(一年、半年或季、月)内的设备停机次数和停机时间的统计资料。绘制设备停机时间和停机频率排列图表，因各单位的设备很多，只需列出占总数 80%以上的停机时间最长及停机次数最多的设备的统计资料即可。对停机时间长、频率高的设备采用计划维修方式，彻底消除故障。对停机频率低，但一旦停机需要延续较长停机时间的设备应该对造成故障停机的过程和原因进行分析，并进行状态监测，进行状态维修。对停机频率高，停机时间短的设备采取的维修策略是提高操作人员的技能水平，一般维修由他们完成即可。对停机时间短，频率低的设备采取的方式是不坏不修。当然需要根据本行业的特点进一步深化细化才能制定出一套符合企业特点的机器维修策略。

5.6.3　设备维修计划的制订

设备维修计划的制订涉及到维修作业实施前、实施期间和实施后的计划、控制的全部过程。设备维修计划的制订目标是通过计划、控制与监督手段确保维修作业的顺利实施，同时所有措施的事实都应该以经济性为前提。为确定作业的进度，就必须制订相应的作业计划。作业计划包括所有将要实施的一次性措施和所有为确保作业进度而必须采取的措施。

1. 维修的作业流程

在维修范围内，作业计划具有重要的意义，而作业流程的编制又起着核心作用。作业流程是维修系统中维修计划的信息载体，计划制订者则依据作业流程编制维修措施实施的作业程序。

维修作业的具体实施通过下列方式完成。

(1) 企业自身的维修部门。

(2) 企业外部的专业维修企业。

维修作业的流程见表 5-2。

维修作业流程的编制一般是按照下列步骤进行的。

(1) 工序计划，指工序顺序的编制。

(2) 实施时间的确定，指定额时间(包括剩余时间及时间单位)的确定。

(3) 维修人员的确定，实质上是对专业技能的要求。在维修领域，多数情况下参与作业的是具有多种技能的熟练工人，在表中按工资组别划分。

(4) 维修材料的确定，指确定维修作业所需原材料的种类及数量。

（5）维修作业所需设备、器材的选择，指确定维修作业必需的设备、工具、器材、焊接装置等。

（6）成本计划，指用以评估维修作业所需的人员、材料、设备、器材需的费用。

表 5－2　维修作业的流程表

<table>
<tr><th colspan="3">名称</th><th>批量</th><th>编号</th><th>作业类型</th><th colspan="3">委托书编号</th></tr>
<tr><td colspan="3">维修材料</td><td>作业量</td><td>图纸编号</td><td>流程编号</td><td colspan="3">签发</td></tr>
<tr><td>顺序</td><td>成本核算部门</td><td>作业地点</td><td>工序</td><td>设备或机组</td><td>工具器材</td><td>技术等级</td><td>剩余时间/分</td><td>定额时间/分</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>编号</td><td>变更性质</td><td>日期</td><td>签名</td><td>已检验</td><td>已观察</td><td>已拟定</td><td>日期</td><td>签名</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

2. 维修委托书的编制过程

维修委托书的编制是以信息流为基础，任务书中关于计划、控制、监督及运用所必需的基本数据也是通过这种渠道获得的。在这种条件下，对维修措施要求的数据必须形成文字的、完备的文件、资料，如图 5.3 所示。

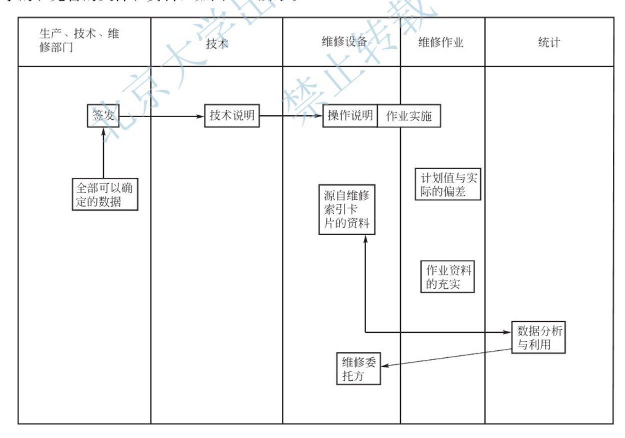


图 5.3　维修委托书的编制过程

思 考 题

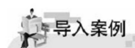
1. 简述设备运行管理的岗位责任制。
2. 简述岗位技术规程的内容。
3. 叙述点检设备的内容。
4. 设备的综合精度指标可用什么来表示？说明公式中各符号的意义。
5. 简述怎样才能合理使用设备。
6. 设备维护四项规定的要求是什么。
7. 简述设备维护的类别和内容。
8. 简述润滑的作用及润滑管理的基本要求。
9. 叙述润滑管理的目的和内容。
10. 设备的维修模式有哪些。
11. 简述怎样选择设备维修策略。



第6章 设备故障及诊断技术



知识要点	掌握程度	相关知识	应用方向
设备故障的概念及分布规律	熟练掌握	设备故障的概念，可靠度与故障率的计算，设备故障的分类，设备故障的分布规律	通过对故障产生机理的了解，寻找减少和延迟故障的方法，提高故障发生的预知性，提高设备的效益
设备故障的典型模式和成因	了解	设备故障产生原因，设备故障常见模式	了解设备故障的典型模式，分析设备故障产生的原因
设备故障的分析及改进	熟练掌握	故障信息数据的收集与统计，故障的频数分析，设备故障原因分析及分析方法	掌握设备故障统计分析的方法，通过对设备故障的分析，加强对设备的改进管理工作，延长设备的经济寿命
设备的诊断技术与状态监测	熟练掌握	设备故障的诊断技术，设备状态检测、监测和诊断的主要方法	学习设备故障诊断这一新兴的技术学科，掌握设备监测和诊断的主要方法，了解现代设备管理的发展方向



有一台数控加工中心要进行大修，检测测定的修理计划中更换(或修复)主轴和床身导轨磨修为主要修理项目，根据企业目前的状况确定需要修理的工序和所需时间为：①解体检查，2 天；②更换主轴(制造或修复)，10 天；③磨修床审核导轨，5 天；④易损件更换，3 天；⑤传动装置清洗，1 天；⑥数控控制电器维修，4 天；⑦整机装配调试，2 天。试绘制出该数控机床大修的网络计划图，根据计划图确定正常修理的工期。

故障是设备在寿命周期过程中必然要发生的现象，它使设备暂时或永久地丧失其功能。由于外部环境和内部自身的原因，设备的自然磨损不可避免，加上操作使用中的偶然性失误等都会造成设备出现故障。本章主要讲述设备故障分析和设备诊断的一般性原理。

现代科学技术创造了结构上日益复杂的设备系统，它们的生产效率和自动化程度越高，发生故障时带来的损失就越大。通过对故障产生机理的了解，人们一方面从设备的设计、制造、安装、维护过程中尽量寻找减少和延迟故障事件的办法。另一方面，又从设备状态监测和设备故障诊断中，努力提高故障发生的预知性，以便采取适当的措施，在考虑故障的条件下力求设备的寿命周期费用最省，提高设备的效益。

6.1　设备故障的概念及分布规律

故障理论是近年来形成的一门新兴学科，它包括故障统计分析和故障物理分析两大方面。前者应用可靠性理论从宏观现象上定性和定量地分析故障过程的模型、特点和规律性。后者则采用先进的测试方法和物理化学方法分析设备的劣化、损坏过程，从微观的角度具体研究故障机理、形态和发展规律性。

6.1.1　故障的定义

故障、异常、缺陷等都是反映设备技术状态不良的术语，在实际工作中往往很难确切地加以区别。设备在使用过程中由于某种原因，使系统、机器或构成系统、机器的零、部件丧失了其规定的功能，这种情况称之为故障。国际通用的定义是：设备在规定时间内、规定条件下丧失规定功能的状况称为故障。在这个定义里包含了 3 种情况。

(1) 完全不能工作的产品。

(2) 性能劣化，超过规定的失效判据的产品。

(3) 失去安全工作能力的产品。

也就是说发生了以上 3 种情况的任意一种都是发生了故障。

设备故障与设备可靠性的含义正好相反，但两者都是设备质量的时间性和综合性的指标。

关于设备的失效，要区分失效与故障这两种语义相近的概念。通常失效泛指一种物品丧失其规定功能的情况，而故障则指设备某些功能的丧失。大多数设备的故障可以通过维修方式使功能得以恢复。

6.1.2　设备可靠度与故障率

设备的可靠度是指：在规定条件下和规定时间内能够实现其功能的概率，用 R 表示。因为是时间的函数，所以又可以写成 $R(t)$，并且 $0 \leqslant R(t) \leqslant 1$。

故障是可靠性的反义词。一台设备或一个设备系统，要么处于可靠状态，要么处于故障状态。这两种状态都是随机出现的，互为互斥事件。因此，若设 $F(t)$为不可靠度，或称为累积故障概率，应有

$$R(t)+F(t)=1 \quad 或 \quad F(t)=1-R(t) \tag{6-1}$$

$F(t)$对时间的导数称为故障概率密度函数，即单位时间内发生故障的概率。

$$f(t)=\frac{\mathrm{d}F(t)}{\mathrm{d}(t)}=-\frac{\mathrm{d}R(t)}{\mathrm{d}t} \tag{6-2}$$

因为

$$R(t)=1-F(t)=1-\int_0^t f(t)\mathrm{d}t$$

所以

$$R(t)=\int_t^{\infty} f(t)\mathrm{d}t \tag{6-3}$$

为了研究设备系统在时间为 t 时尚未发生故障但在随后的时间里就可能发生故障的可能性，提出故障率 $\lambda(t)$的概念，它是在时间 $\mathrm{d}t$ 内可能发生故障的条件概率，即

$$\lambda(t)=\frac{f(t)}{R(t)}=-\frac{\mathrm{d}R(t)}{\mathrm{d}t}\Big/R(t) \tag{6-4}$$

上式可以解得故障率与可靠度的关系为

$$R(t)=e^{-\int_0^t \lambda(t)\mathrm{d}t} \tag{6-5}$$

当 $\lambda(t)=\lambda$(常数)时，上式为

$$R(t)=\exp(-\lambda t) \tag{6-6}$$

出现故障的绝大多数机械设备是可以修复的。也就是说，通过维修可以局部或全部恢复它丧失的功能。通过大量的实践证明，可维修设备的故障率 $\lambda(t)$随着设备使用期的延续而呈现 3 个不同趋势的阶段。机械设备在整个使用寿命周期内的故障率变化如图 6.1 所示。由于其图形很像一个浴盆，通常称之为浴盆曲线。它将使用维修期间的设备故障状态分为 3 个时间。

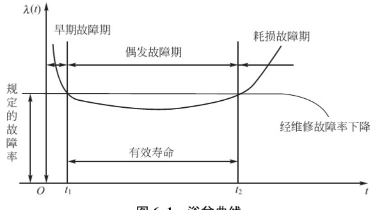


图 6.1　浴盆曲线

(1) 早期故障期($0 \leqslant t < t_1$)，也叫初发故障期。它是指新设备或大修好的设备安装调试过程中移交生产试用阶段。这一时期的特点是故障率较高且故障率随时间的增加而迅速

下降。主要是由于设计、制造、装配等缺陷，以及操作不熟练等原因造成这一阶段的故障较多，问题充分暴露。随着调试、排除故障，故障逐步减少。早期故障相当于设备的安装试车阶段，经过磨合、调整，设备将进入正常工作阶段。当设备进行大修理或技术改造后，早期故障期将再次出现。

（2）偶发故障期（$t_1 \leqslant t < t_2$），这个时候设备各运动件已经进入了正常的磨损阶段，操作工人已经逐步掌握了设备的性能、原理和调整的特点。所以这一时期的特点是：①故障率低而稳定，近似常数，与时间 t 关系不大；②偶然因素引起故障，由于设计制造中潜在缺陷、操作差错、不良维护、环境等因素所致，通过调试不能消除，更换零件不能预防；③时间长，约等于机器的使用期限，这个时期故障率基本保持不变，即 $\lambda(t)=\lambda$（常数），其可靠度只有 $R(t)$ 是指数分布。在偶发故障期故障是随机产生的，产生原因是由于使用不当、操作疏忽、润滑不良、维护欠佳、材料隐患、工艺缺陷等偶然原因所致，没有一种特定的失效机理主导作用。因为设备保养工作随时将这些故障排除，此时期成为设备的最佳工作期，对应着设备的正常磨损阶段。

（3）耗损故障期（$t_2 \leqslant t < T_i$，T_i 为两次大修间的正常工作时间），这一时期的特点是随着使用时间的延长，各部分机件因磨损、腐蚀、疲劳、材料老化等逐渐加剧而失效，导致设备故障率急剧升高，生产效能下降，排除故障所需要的时间和排除故障的难度都会逐渐增加，维修费用也会急剧上升。这个时候应该采取不同形式的设备检修或者进行技术改造，以恢复生产效能。如果继续使用，就有可能造成事故。由于大多数零部件经过长期的运转，磨损严重，增加了产生故障的机会。因此，应在这一时期出现前不久进行预防维修，或在这一时期刚出现时进行设备小修，以防止故障大量涌现，降低故障率和维修工作量。

其他故障的规律特点如图 6.2 所示。

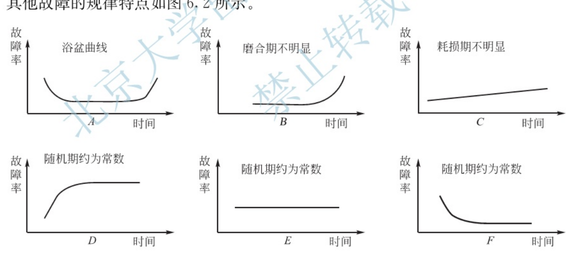


图 6.2　其他故障的规律特点

A、B—汽缸、连杆机构、齿轮、轴承等零部件；C—航空涡轮发动机；
D、E、F—电子产品

6.1.3　故障的分类

设备故障的分类是多种多样的，可以从不同的角度对其进行分类。

按照发生状态，设备故障可以分为以下几类。

（1）渐发性故障，是能通过测试早期预测的故障，它也可以引发突发性的故障。最常

见的是机件磨损的积累导致设备精度丧失，到某一界限时会产生突发性的故障。例如：轴承磨损后导致轴系部件运转时的振动，最终爆发为轴的断裂。

（2）突发性故障，是各种不利因素与偶然的外界影响共同作用而产生的，这种作用超出了设备所能承受的限度。例如：因机器使用不当或者出现超负荷而引起的零件折断；因设备各项参数达到极限值而引发的零件变形和断裂。这种故障往往是突然发生的，事先无任何征兆。

突发性故障多发生在设备的初期使用阶段，往往是由于设计、制造、装配及材质等缺陷，或者操作失误、违章作业而造成的。

按性质，设备故障可分为以下几类。

（1）间断性故障，又称为临时性故障，是指在经过一定时间后能自行消失的故障，它多半由于设备系统外部原因所引起，如工人误操作、气候变化、运输条件中断、环境设施不良等造成的故障。当这些外部干扰消除时，设备的运转即可正常。但临时性故障有时也可能导致永久性故障，如在电厂用电系统中发生鼠害，由瞬时接地造成短路故障，最终导致供电中断甚至电气设备损坏的永久性故障。

（2）永久性故障，是指设备丧失某些功能，直到出故障的零部件更换或修复，功能才恢复。

按照影响程度，设备故障可以分为以下几类。

（1）完全性故障，导致设备完全丧失功能。

（2）局限性故障，导致设备某些功能丧失。

按照发生的原因来划分，设备故障可以分为以下几类。

（1）磨损性故障，由于设备正常磨损造成的故障。

（2）错用性故障，由于操作错误、维护不当造成的故障。

（3）固有的薄弱性故障，因设计问题使设备出现薄弱环节，在正常使用时产生的故障。按照危险性，设备故障可以分为以下几类。

（1）危险性故障，例如：原设计的保护系统在需要动作时却发生故障，丧失保护作用；造成人身及工件损伤的设备故障；牵引系统的设备故障。

（2）安全性故障，例如：不需要保护系统发挥作用而作用时造成的故障；机床启动时造成不能开车的故障；牵引系统不需要发生制动而发生制动时造成的故障。

6.2　设备故障的典型模式和成因

设备的故障必定表现为一定的物质状况特征，这些特征反映出物理的、化学的异常现象，导致设备功能的丧失。我们将这些物质状况的异常特征称为故障模式。

研究各种故障模式，分析故障产生的原因、机理，记录故障现象和故障经常出现的场合，采用有效的监测方法，并提出避免的措施，这是设备故障研究的主要任务。

6.2.1　机械设备中常见的故障模式

每一种故障都有其主要特征，即所谓故障模式，或故障状态。各种设备的故障状态是相当复杂的，实际工作中常见的故障模式大致有 18 种：异常振动、磨损、疲劳、裂纹、

破裂、过度变形、腐蚀、剥离、渗漏、堵塞、松弛、熔融、蒸发、绝缘劣化、异常声响、油质劣化、材质劣化、其他。

上述这些故障可按以下几方面进行归纳。

(1) 属于机械零部件材料性能方面：疲劳、断裂、裂纹、蠕变、过度变形、材质劣化等。

(2) 属于化学、物理状况异常方面：腐蚀、油质劣化、绝缘绝热劣化、导电导热劣化、熔融、蒸发等。

(3) 属于设备运动状态方面：振动、渗漏、堵塞、异常噪声等。

(4) 多种原因的综合表现：磨损。

不同类型企业、不同种类设备的主要故障模式和各种故障出现的频数有着明显的差别。对于机械制造行业来说，振动和磨损是利害攸关的大事。对于石油、化工设备，渗漏问题极其敏感。通常，回转机械的主要故障模式是异常振动、磨损、异常声响、裂纹、疲劳；而静止设备的主要故障模式是腐蚀、裂纹、渗漏。

6.2.2 故障产生的原因和模式

故障分析的核心问题是要搞清楚产生故障的原因和机理，否则就不可能制定消除故障的有效对策。

引起故障的外部因素如下。

(1) 环境因素：力、能、振动、污染(表6-1)。

表6-1 环境因素

环境因素	主要影响	典型故障
机械能	产生振动、冲击、压力、强速度、机械应力等	机械强度降低、功能受影响、磨损加剧、过度变形、疲劳破坏、机件断裂
热能	产生热老化、氧化、软化、熔化、粘性变化、固化、脆化、热胀冷缩及热应力等	电气性能变化、润滑性能降低、机械应力增加、磨损加剧、机械强度降低、腐蚀加速、热疲劳破坏、密封性能破坏
化学能	产生受潮、干燥、脆化、腐蚀、电蚀、化学瓜及污染等	功能受影响、电气性能下降、机械性能降低、保护层损坏、表面变质、化学瓜加剧、机械断裂
其他能量	产生脆化、加热、蜕化、电离及磁化	表面变质、材料褪色、热老化、氧化、材料的物理、化学、电气性能发生变化

(2) 人为因素：设计不良，质量偏差，使用不当。

(3) 时间因素：常见的磨损、腐蚀、疲劳、变形等故障都与时间有密切的关系。

产生故障的原因有硬件方面的，也有软件方面的，或者是硬件与软件不匹配等。故障的发生受空间、时间、设备故障件的内部和外界多方面因素的影响，有的是某一种因素起主导作用，有的是几种因素综合作用的结果。

从宏观上看，产生故障的主要原因主要有以下4个方面。

1. 设计不完善

在机械设备技术方案的规划设计过程中，由于对设备的功能设计不正确或不完善，设

备在生产中不能很好地适应产品加工的需要，造成实际的使用条件与原规划的使用条件相差甚远，导致设备工作时发生超载，零件所受的应力过高或应力集中就有可能突破强度、刚度、稳定性等许用条件，形成故障。

设计不完善的主要表现和最为常见的是：有相对运动零件材料配合和润滑方式选择不当，对使用条件和环境的影响考虑不周。

2. 原材料的缺陷

零部件材料选用不符合技术条件：材质不符合规定的标准。符、锻、焊件本身存在缺陷。热处理变形或留下缺陷是产生磨损、腐蚀、过度变形、疲劳、破裂等现象的主要原因。

3. 制造过程中的缺陷

从毛坯准备、切削加工、压力加工、热处理，焊接和装配加工到机械设备完成，在机制工艺过程的每道工序中都有可能积累应力集中，或产生微观裂纹等缺陷，而经装配使用时才在工作状态下显现出来。

4. 运转过程中的问题

运转过程中没有预料到的使用条件变化，如出现过载、过热、高压、腐蚀、润滑不良、漏电、漏油、操作失误、维护修理不当等，都会引起设备故障。

以上进行故障分析时，大多强调设备物质硬件形态方面的原因。事实上，由于管理混乱和管理不善带来的故障约占故障总数的30%～40%。随着科学技术的进步，人们对设备故障的分析不再仅仅停留对硬件形态的方面，而开始重视起软件缺陷造成的故障分析，例如，人的素质、操作技能、管理制度等。

从微观上来看，发生机械故障的原因在于设备中零件的强度因素与应力因素和环境因素不相适应。机械设备故障模式主要有变形、磨损、断裂和腐蚀四大模式。其中磨损最为常见，断裂后果最为严重，基础件变形往往不为人重视，腐蚀与设备的环境有密切的关系。

需要注意的问题如下。

(1) 传统的故障观念与现代设备的“故障源”，有6大因素：零(元)件缺陷；零(元)件间的配合不协调；信息指令故障；人员误操作；输入异常(原材料、能源、电、汽、工质不合格等)；工作环境恶化。

(2) 计划维修对故障率的影响是使浴盆曲线进行了平移，对设备进行维修后不仅没有降低系统的故障率，反而使其重新进入另一个磨合期，将磨合期的高故障率引入稳定的系统中，增加了设备的总故障率。

6.3　设备故障的分析与改进

在故障管理工作中不但要对每一项具体的设备故障进行分析，查明故障发生的原因和机理，并应采取预防对策，防止重复出现。同时，还必须对企业全部设备的故障基本状况、主要问题、发展趋势等有所了解，找出管理工作中的薄弱环节，采取针对性的措施，

预防或减少故障，改善设备的技术状态。因此，对故障的统计分析是故障管理工作必不可少的内容，是制定管理目标的主要依据。

6.3.1　故障信息数据的收集与统计

故障信息的主要内容包括以下几方面。

(1) 故障对象(系统、设备、部件)的识别数据：设备的种类、编号、生产厂家、出厂日期、使用经历等。

(2) 故障识别数据：故障类型、故障现场的形态表述、故障时间等。

(3) 故障鉴定数据：故障对象、故障原因、测试数据等。

(4) 有关故障设备的历史资料。

故障信息的来源如下。

(1) 故障现场调查资料。

(2) 故障专题分析报告。

(3) 故障修理单。

(4) 设备的使用运行情况报告，即设备的运行日志。

(5) 定期检查记录。

(6) 状态检测和故障诊断记录。

(7) 产品说明书，出厂检验、实验数据。

(8) 设备安装、调试记录。

(9) 修理检验记录。

收集故障数据资料的注意事项如下。

(1) 按照规定的程序和方法收集数据。

(2) 目的性要明确，收集的信息数据要对故障管理有用。

(3) 记录的情况和数据要力求清楚、准确无误；要对记录人员进行教育、培训，健全责任制。

(4) 计算损失费用的方法和标准要统一，否则没有可比性。

(5) 资料收集人员应对收集的资料真实性负责。

做好设备原始记录包括的内容如下。

(1) 跟班维修人员做好检修记录，要详细记录设备故障的全过程，如故障部位、停机时间、处理情况、产生原因等，对一些不能立即处理的设备隐患要做详细的记载。

(2) 操作工人要做好设备的点检(平常的定期预防性检查)记录，每班按照点检要求对设备做逐点检查、逐项记录。对点检中发现的设备隐患，除按照规定要求进行处理外，对隐患的处理情况也要按要求认真填写。以上的检修记录和点检记录定期汇集整理后，上交企业的设备管理部门。

(3) 填好设备的故障修理单，有关技术人员会同维修人员对设备故障进行分析处理后，要将详细情况填入故障修理单。故障修理单是故障管理中的主要信息来源。

故障统计作为控制故障停机的基本手段，已为广大设备工作者所熟知，也早已成为我国设备传统管理中的一项内容，而且很多企业已实现了故障停机率的指标要求，与国外先进水平相比也不很落后。

6.3.2　故障的频数分析

对一个企业、一个车间、一个部门的设备故障管理实行宏观考评，可从次数、时间、费用 3 个方面的指标进行同行业和企业间评比。

1. 故障频率

以设备的单位运转台时发生的故障台次来评价故障频率。

$$故障频率=\frac{同周期故障停机台次}{设备实际运转台时} \tag{6-7}$$

2. 故障强度率

故障频率分析只能反映故障发生的次数，不能反映故障停机时间的长短。为了能反映故障的时间程度，一般以单位运转台时的故障停机小时评价，叫做故障强度率。

$$故障强度率=\frac{周期设备故障停机小时}{设备实际运转台时}\times 100\% \tag{6-8}$$

3. 故障损失率

因设备故障造成的费用损失程度，用单位台时的故障停机损失费用来表示，称为故障损失率。

$$故障损失率=\frac{周期设备故障停机损失费总额}{设备实际运转台时} \tag{6-9}$$

6.3.3　设备故障原因分析

在设备管理过程中，要想对设备系统故障进行微观分析，那么设备管理工作者必须了解设备各种故障产生的原因，以及各种故障原因所占的比例，以便在今后进行预防。

在开展故障原因分析时，对故障种类的划分应该有一个统一的准则。因此，应该将本企业的故障原因种类规范化，明确每种故障所包含的内容。划分故障原因种类时，要结合本企业所拥有的设备种类和故障管理的实际需要。其准则应该是根据划分的故障原因种类，能看出每种故障的主要原因或者存在的问题。当设备发生故障后进行鉴定时，要按照同一规定确定故障的原因。当每种故障所包含的内容已有明确规定时，便不难根据故障原因的统计资料发现本企业产生设备故障的主要原因或问题。例如，对某一机械厂的设备故障原因的分类见表 6-2。

表 6-2　某厂故障原因的分类

序号	原因类别	包含的主要内容
1	设计问题	原设计结构、尺寸、配合、材料选择不合理等引起的故障
2	制造问题	原制造的机加工、锻造、热处理、装配、标准元器件等存在的问题引起的故障
3	安装问题	基础、垫铁、地脚螺栓、水平度、防振等问题引起的故障

（续）

序号	原因类别	包含的主要内容
4	操作保养不良	不清洁，调整不当、未及时清洗换油，操作不当等引起的故障
5	超负荷，使用不合理	加工件超规格，加工件不符合要求，超切削规范，加工件超重，设备超负荷等引起的故障
6	润滑不良	不及时润滑，油质不合格，油量不足或超重，油的牌号种类错误；加油点堵塞，自动润滑系统工作不正常等引起的故障
7	修理质量问题	修理、调整、装配不合格、备件配合不合格，局部改进不合理等引起的故障
8	自然磨损劣化	正常磨损、老化等引起的故障
9	自然灾害	由雷击、洪水、暴雨、塌方、地震等引起的故障
10	操作者马虎大意	由于操作者工作时精神不集中引起的故障
11	操作者技术不熟练	一般指刚开始操作一种新设备，或工人的技术等级偏低引起的故障
12	违章操作	有意不按规定操作引起的故障
13	原因不明	

图 6.3 所示为某车间一季度的故障原因统计分析。通过对企业的实际故障的统计分析可以了解企业发生故障的主要原因和内容，明确故障管理工作的重点。

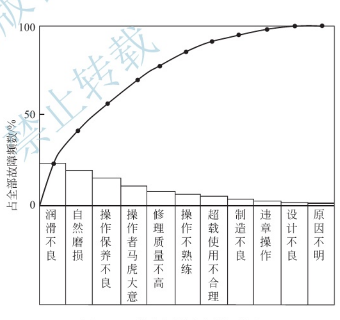


图 6.3　故障原因分析排列图

由图 6.3 故障原因分析排列图可知，润滑不良，自然磨损，操作保养不良，操作者马虎大意，修理质量不高，操作不熟练，这几项在图中的累加值差不多占了 80%，说明这几种故障原因是该厂设备系统发生故障的主要问题。掌握了这个统计量的大致情况，故障管理工作的目标也就应该明确了。对于该厂来说，今后的故障管理工作主要是抓润滑、磨损、保养、劳动纪律和对员工技术的培训等关键问题。

6.3.4　故障的分析方法

故障分析是从故障现象入手，分析各种故障产生的原因和机理，找出故障随时间变化的宏观规律，判断故障对设备的影响，研究对故障的预测、预知，从而控制和消除故障。

常见的故障分析方法有以下几种。

1. 故障频率和故障强度分析法

大小故障频率＝固期设备故障停机台数/设备实际运转台数×100％

故障频率分析一般用于车间之间、同类工厂之间的相互比较分析，也可以对某一台设备不同时间进行比较分析。它只反映故障的次数，不反映故障停机时间的长短和费用损失程度。

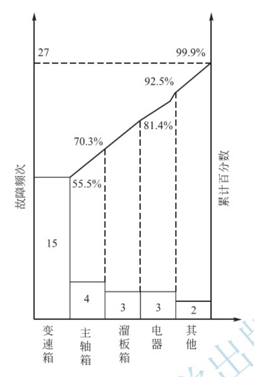


图 6.4　C6132 车床故障部位分层排列图

2. 故障原因分析法

根据统计数据，运用排列分析出主要问题，针对主要问题进行分层和因果分析找出主要原因。

例如，对 C6132 车床故障部位和故障频数进行统计，做出排列图(图 6.4)，从图中得知变速箱发生齿轮损坏的次数为 15 次，占故障总数的 55.5％。

图 6.5 所示是进一步对 C6132 变速箱齿轮损坏进行因果分析的因果图。将造成齿轮损坏的原因按照大类进行划分，再细分，直到找出主要原因，采取有效的措施加以解决。从图 6.5 的分析得出，齿轮损坏的主要原因是机床的结构不合理，无刹车装置，加上操作工人不了解机床的结构，在生产紧张时采取开倒车的方法进行紧急停车，使齿轮损坏。

3. *MTBF* 和 *MTTR* 的分析法

MTBF(Mean Time Between Failures)是指平均故障间隔时间，是衡量设备可靠性的重要指标。*MTTR*(Mean Time To Repair)是平均故障修复时间，是衡量设备维修性的重要指标。

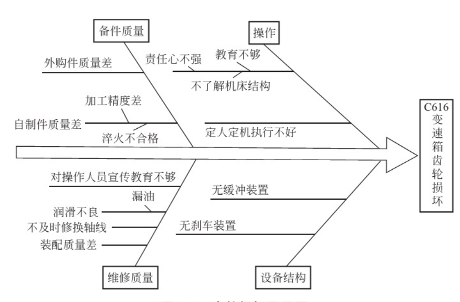


图 6.5　齿轮损坏因果图

$MTBF$ 的计算可以通过将各故障时间 t_1，t_2，…，t_n 相加再除以故障次数 n 得到，

即
$$MTBF=\frac{\sum_{i=1}^{n}t_i}{n} \tag{6-10}$$

$MTTR$ 的计算可以通过将各次修理的停机时间 t_{01}，t_{02}，…，t_{0n} 相加后再除以修理次数 n_0 得到，

即
$$MTTR=\frac{\sum_{i=1}^{n_0}t_{0i}}{n_0} \tag{6-11}$$

如果将记录故障的工作一直延续地进行下去，当设备进入使用的后期(劣化故障期)，将会出现故障密集的现象，不但易损件，就连一些基础件也连续发生故障而形成故障流，且故障流的时间也会显著缩短。通过多台相同设备的故障分析记录分析就可以科学地估计该设备进入劣化故障的时间，为合理确定预防维修的时间创造条件。

$MTBF$ 分析的目的是了解故障的发生规律，求得可靠性数据。应该在故障统计中剔除那些非正常情况造成的故障，例如明显的超设备性能使用、人为地破坏、自然灾害等造成的设备故障。

4. FMECA 分析法

FMECA(Failure Mode Effect and Criticality Analysis)分析是为了了解影响设备功能的一些关键性零部件发生故障的情况，通过分析其故障模式和故障发生的原因，判断当这些零部件发生故障时会对系统、设备的功能产生何种影响及造成危害的程度。然后进行改进设计或适当地控制使用条件，防止故障发生或者减少故障的影响及危害程度，提高设备的可利用率。这种方法的优点是，没有故障的定量数据同样可以进行，但这种方法对分析人员的素质要求较高，必须由熟悉设备的机构、功能、特性的技术人员进行。

FMECA 分析的实质是从构成设备的零、部件逐步走向设备、系统的发展，搞清楚当系统、设备的下一层次的零、部件发生故障时，对其上一层次的系统、设备发生何种影响及危害程度。

有关 FMECA 分析法的理论基础和具体的分析方法可以参考其他的相关书籍，以获得更加深入的了解。

5. 故障树分析法(FTA 分析法)

故障树分析 (FTA，Fault Tree Analysis)也叫故障因果图分析或者故障逻辑查找法，是根据产生故障的因果关系，用各种逻辑符号和代表不同事件的符号(表 6-3)来绘出设备系统或零部件的故障事件与它的各个子系统和零部件所发生的故障事件之间关系的逻辑结构图，形似倒挂的一棵树。从设备、系统上一层次的故障现象出发，分析下一层次对产生此故障现象的影响和其间的逻辑关系。这种方法的优点是不仅能分析构成设备的硬件产生的影响，而且可将软件、人为因素、环境因素等产生的影响包括在分析内容之中。这种分析既包括定性的成分，也包括定量的成分。应用概率论和布尔代数方法可对故障现象采用电子计算机进行分析。

FTA 分析和 FMECA 分析一样，分析的都是设备在使用中的薄弱环节，拟定检查内容的有效手段。当设备投入使用后，都应该由对设备的工作原理、性能、机构十分熟悉的

专职维修工程技术人员进行故障分析。为了避免遗漏、失察主要事件和出现不同的结论，应该采用合适的方式(如加强调研和基础管理，组织技术讨论)来提高分析质量。

表 6－3　故障树分析的逻辑符号和事件符号

符号	含义
	基本事件，不能或者不需要再展开的事件，表示导致故障的基本原因
	待展开分析的事件
	原因不清楚且无法进一步展开的事件
	原因不清，对整个故障树有影响，有待进一步研究的事件
	可能出现也可能不出现的事件
	现象转入：表示现象已在别的(转出)位置上发生，转入本位置起同样的作用
	现象转出：表示现象已在本位置上发生，在转入位置上也起着同样的作用
&	与门：下端的各事件同时出现时才能导致上端事件发生
≥1	或门：下端的各事件只要有一个出现即可导致上端事件发生
	禁门：下端有条件事件时才能导致上端事件发生

6.4　设备的诊断技术与状态监测

6.4.1　设备故障的诊断技术

设备故障诊断是一门新兴的技术学科，它对设备管理的影响很大。所谓设备故障诊断技术，就是在设备运行过程中或基本上不拆卸设备的情况下，通过监测设备的状态参数来了解和掌握设备的运行技术状态，确定其整体或局部正常与否，早期发现故障及其原因，判断故障的部位和程度，预测故障发展趋势和往后技术状态变化的技术。

设备故障诊断技术与人们熟知的医学诊断技术十分相似，而且一些诊断方法和诊断的症状特征信息也十分类同。

20 世纪 60 年代初期，计算机技术和电子技术有了较大的发展，促进了工业生产水平和设备水平的大幅度提高，同时又推动了设备检测技术的迅速发展。20 世纪 70 年代开始，由于电子测量技术、信号处理技术及计算机技术的进一步发展，促进设备故障诊断得到了较大的充实和提高，并更加趋向完善。目前，设备诊断技术已广泛应用于各个不同领域。

设备诊断技术按要求、对象的不同可分为简易诊断和精密诊断两个层次。

简易诊断技术对设备的技术状况简便而迅速地作出概括评价，相当于对人体进行健康检查，因为它能够迅速而概括地检查了解设备的状态，所以普遍有效地用于大量设备的检测。简易诊断技术一般有以下几个特点。

（1）使用各种较为简单、易于携带和便于在现场使用的诊断仪器及检测仪表。

（2）由设备维护检修人员在生产现场进行。

（3）仅对设备有无故障、严重程度及其发展趋势做出定性的初步判断。

（4）涉及的技术知识和经验比较简单，易于学习和掌握。

（5）需要将采集的故障信号存档建档。

设备的状态监测包括定期的和在线的，都属于简易诊断技术的范围。它可对能反映设备技术状态的一些参数做出正常与否的判断，当存在异常或者超出限制时，应能警报或者自动停机，但状态监测并不同于故障的识别和判断。

精密诊断技术指使用精密仪器的方法，对经过简易诊断判定为异常的设备作进一步的细致诊断，找出故障的具体位置、原因和数据，确定应采取何种措施来解决设备存在的问题，相当于医生对病人的深入诊断。它一般有以下几个特点。

（1）运用各种比较复杂的诊断分析仪器或专用的诊断设备。

（2）由具有一定经验的工程技术人员及专家在生产现场或者诊断中心进行。

（3）需对设备故障的存在位置、发生的原因及故障类型进行识别和定量。

（4）涉及的技术知识和经验比较复杂，需要较多的学科配合。

（5）进行深入的信号处理，以及根据需要预测设备的寿命。

设备诊断技术不仅被人们应用于设备的使用、维修阶段，而且已按设备一生管理的要求，在每个阶段都应用设备的诊断技术，以实现设备寿命周期费用达到最经济、最有效的目标。实践证明，设备诊断技术在具体的实施中将会取得十分明显的经济效益，这种经济效益主要表现在可以减少事故，降低维修费用。

设备的简易诊断技术和精密诊断技术的区别和关系可以用图 6.6 所示关系图表示。

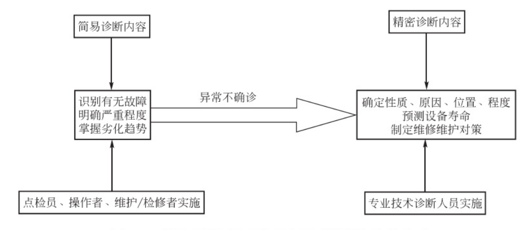


图 6.6　设备的简易诊断技术和精密诊断技术关系图

1. 设备故障诊断技术的分类

1）按照诊断的目的、要求和条件分类

（1）功能诊断和运行诊断：功能诊断主要用于新安装或刚维修的设备；而运行诊断则针对运行中的设备或系统。

（2）定期诊断和连续监测。

（3）直接诊断和间接诊断：间接诊断主要通过设备运行中的二次信息判断。

（4）在线诊断和离线诊断。

（5）常规诊断和特殊诊断。

（6）简易诊断和精密诊断。

2）按诊断的物理参数分类

主要物理参数有振动、声学、温度、污染、无损、压力、强度、电参数、趋向及各种参数的综合，见表6-4。

表6-4 设备故障诊断技术分类

诊断技术名称	状态检测参数
振动诊断技术	平衡振动、瞬态振动、机械导纳及模态参数等
声学诊断技术	噪声、声阻、超声及声发射等
温度诊断技术	温度、温差、温度场及热象等
污染诊断技术	气、液、固体的成分变化，泄漏物及残留物等
无损诊断技术	裂纹、变形、斑点及色泽等
压力诊断技术	压差、压力及压力脉动等
强度诊断技术	力、扭矩、应力及应变等
电参数诊断技术	电信号、巧率及磁特性等
趋向诊断技术	设备的各种技术性有指标
综合诊断技术	各种物理参数的组合与交叉

3）按诊断的直接对象分类

直接诊断对象有机械零件、旋转机械、往复机械、工程结构、工艺流程、生产系统、电气设备等，见表6-5。

表6-5 设备故障诊断技术分类

诊断技术名称	直接诊断对象
机械零件诊断技术	齿轮、轴承、转轴、钢丝绳、连接件等
液压系统诊断技术	泵、阀、液压元件及液压系统等
旋转机械诊断技术	转子、轴系、叶轮、风机、泵、离心机、汽轮发电机组及水轮发电机组等
往复机械诊断技术	内燃机、压气机、活塞及曲柄连杆机构等

2. 设备故障诊断技术的实施过程(图 6.7)

1）状态监测

状态监测是指通过传感器采集设备在运行中的各种信息，将其转变为电信号或其他物理量，再将获取的信号输入到信号处理系统进行处理。后者主要是将特征信号提取出来，而将无用信号和干扰信号排除。

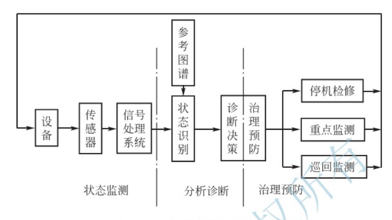


图 6.7　诊断技技术三阶段

2）分析诊断

分析诊断是指根据监测到的能够反映设备运行状态征兆或特征参数的变化情况，将征兆与模式进行比较来判断故障的存在、性质、原因和严重程度及发展趋势。

3）治理预防

治理预防是指根据分析诊断得出的结论确定治理修正和预防的办法。

6.4.2　设备状态监测

设备状态监测是用人工或专用的仪器、工具，按照规定的监测点进行间断或连续的监测，掌握设备异常的征兆和劣化程度的方法。状态监测与故障诊断既有联系又有区别，有时往往将状态监测称为简易诊断，因为两者的含义和功能是十分相似的。状态监测通常是通过测定设备的一个或几个单一的特征参数(如振动、温度等)，检查其状态是否正常，参数值将要达到某个限定值时就应判定安排停机修理。为了达到这个目的，在对设备进行定期或连续检测时，必须及时掌握并记录故障发展的趋势，对使用寿命进行预测、预报，实现状态监测的要求，做好故障趋势分析。

设备状态监测按其监测的对象和状态量来划分，可分为两个方面的监测。

(1) 机器设备的运行状态监测：指监测设备的运行状态。例如：根据设备的振动、温度、油压、油质劣化、泄露等情况，对泵类、压缩机、机床等设备进行监测。

(2) 生产过程的状态监测：指监测由几个工艺参数所构成的生产过程的状态。例如：监测产品质量、流量、成分、温度或工艺参数量的变化等情况。

上述两个方面的状态监测是相互关联的。例如：生产过程发生异常，或会导致设备的故障，或会发现设备的异常。反过来，往往由于设备运行状态发生异常而出现生产过程的异常变化。

设备状态监测按监测手段来划分，可分为主观型状态监测和客观型状态监测两类。

(1) 主观型状态监测：由监测人员利用自身的感受器官去进行监测，其准确程度主要是取决于执行人员的经验和能力。如目前推行较为普遍的日常点检工作就属于此类情况。

(2) 客观型状态监测：由监测人员采用各种测量工具、仪器和精密诊断仪器及专用监测系统等装置进行的一种检测方法。由于当前现代化装备水平的设备在数量上不断增加，促使客观型状态监测的比重越来越大。同时一些具有现代化生产水平的系统设备，借助于电子计算机控制来达到对生产过程或设备运行状态的自动监测，这对减少故障停机损失，开展状态预知维修，提高设备寿命周期费用效率达到了较好的效果。

6.4.3 监测和诊断的主要方法

1. 振动监测

在机械设备的监测和诊断中，振动监测是普遍常用的监测方法。振动是一切回转运动和往复运动机械中最普遍的现象。产生机械振动的原因有很多，归纳起来有以下几个方面原因。

(1) 零部件加工或装配中的偏心、轴弯曲、旋转体的材质分布不匀，使设备运转时产生惯性力。

(2) 往复杆件在往复运动时产生惯性力。

(3) 支承基座及传动机构零件的磨损、损坏使机构及机件随之产生振动。

(4) 设备基座及动力系统的激励。

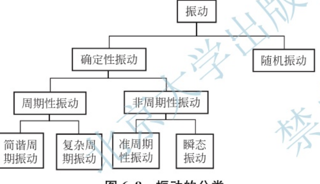


图 6.8 振动的分类

振动监测法的分类(图 6.8)如下。

(1) 确定性振动。确定性振动有周期性振动(简谐周期振动和复杂周期振动)和非周期性振动(准周期性振动和瞬态振动)。

(2) 随机振动。

时间历程曲线如图 6.9～图 6.11 所示，(b)图是其频谱图，是单一的谱线，说明简谐振动的能量集中在单一的频率 f_0 上。

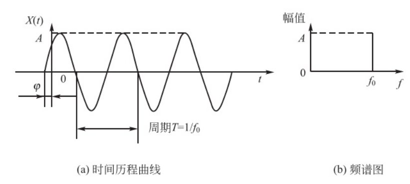
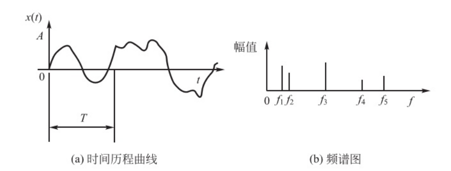


图 6.9 简谐振动的时间历程曲线和频谱图

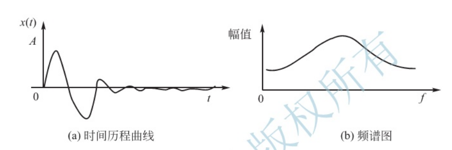
图 6.11 所示的重要特征是：频谱为连续谱。

随机振动是一种非确定性振动，不能用精确数学关系式加以描述，仅能用随机过程的理论和数理统计的方法对其进行处理，其时间历程曲线如图 6.12 所示。



(a) 时间历程曲线　　(b) 频谱图

图 6.10　准周期振动的时间历程曲线和频谱图



(a) 时间历程曲线　　(b) 频谱图

图 6.11　瞬态振动的时间历程曲线和频谱图

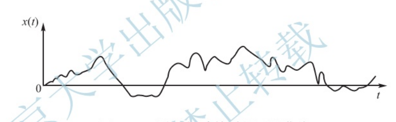
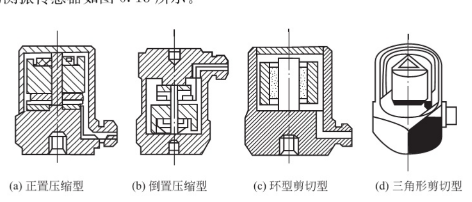


图 6.12　随机振动的时间历程曲线

在振动分析中，通常使用传感器将机械能转换成电能，使传感器产生电信号与机械振动成函数关系。振动测量的传感器一般常用的有位移型传感器、速度型传感器和加速度型传感器 3 种类型，根据测量参数的不同可选用不同的结构形式。

常用的测振传感器如图 6.13 所示。



(a) 正置压缩型　　(b) 倒置压缩型　　(c) 环型剪切型　　(d) 三角形剪切型

图 6.13　常用的测振传感器

2. 噪声监测

噪声：不规则的机械振动在空气中引起的振动波。采用声压级、声强级和声功率级来表示噪声的强弱；用频率或频谱表示噪声的成分；也可以用主观的感觉，例如响度进行测量。

噪声的主要参数：声压、声强、声功率。

（1）传声器：它的作用是将声能转换成电能。如图 6.14 电容传声器，图 6.15 压电传声器。

通常用膜片感受声压，将声压转换成膜片的振动。传声器分为 3 类：压强式，膜片感受的是声压；压差式，膜片振动取决于膜片两侧的压差；压强和压差组合式。

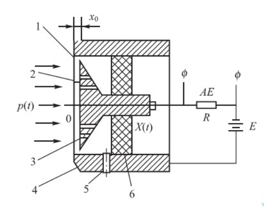


图 6.14　电容传声器结构原理图

1—膜片；2—后极板；3—阻尼孔；
4—外壳；5—均压孔；6—绝缘体

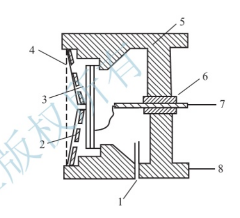


图 6.15　压电传声器结构简图

1—均压孔；2—背极；3—晶体切片；
4—膜片；5—壳体；6—绝缘体；7、8—输出电极

（2）声级计：声级计可以用来测量声级，进行频谱分析，记录噪声的时间特性和测量振动。

声级计由传声器、衰减(放大)器、计权网络、均方根值检波器、指示表头等组成。它的工作原理是：被测量的声压信号通过传声器转换成电压信号，经过衰减器、放大器及计权网络等，最后由分贝显示出来。

3. 温度监测

温度是表示物体冷热程度的物理量，也是物质分子运动能量大小的反映和标志，物体在生产或运行过程中许多物理现象和化学作用的结果，大多可归纳到温度这个状态量上来，所以在设备中的机械机件和电气元器件常常会引起温度变化而发生“热故障”。因此，通过温度监测来查出早期设备的故障是十分有效和必要的。例如，机件中由于不正确的工作位置，或过载运行，或轴承的磨损运转，或润滑不良等原因会产生异常热量。又如电气系统中由于机件间摩擦磨损导致绝缘层破坏，负载过大，电阻值变化，电缆接头老化、松动、接触不良等，都会使系统内局部区域产生异常升温。

过去对一般设备有时采取手摸测温方法，其温度范围至多不超过 50°。随着工业生产的飞跃发展和设备的不断更新换代，有的设备在生产过程中温度高达几千度，有的设备要求在运转中迅速而准确地测出温度，因而必须靠科学的检测手段来适应生产的需要。

温度监测按测温方式的不同，一般可分为两大类。

(1) 接触式温度监测。测温元件与被测对象直接接触，通过热交换进行测温。这类监测所用的仪器大部分要求仪器的测温元件需要与被测物体间有良好的热接触，通过热传导和热对流使物体与仪器探头接触区域达到热平衡，实现温度测量。

属此类仪器的有：液体膨胀式温度计、固体膨胀式温度计、压力表式温度计、电阻温度计和热电偶温度计等。

(2) 非接触式温度监测。该种监测仪器在测量时，测量元件与被测对象无需接触，是通过接收物体热辐射能量来实现测温目的的。

属于这种原理的测量装置有：光学高温计、辐射高温计、红外测温仪和红外热像仪等。

通过温度测量所能发现的常见故障有：轴承损坏、流体系统故障、发热异常、污染物质积聚、保温材料损坏、电器元件故障、非金属部件的故障、机件内部缺陷、裂纹等。

4. 裂纹监测

在机械构件或零部件的材质中，缺陷是难以避免的，但最危险的是出现裂纹缺陷。这种缺陷产生的原因很多，有的是热加工引起的，有的是焊接不良造成的，也有的是经过长期运行后所产生的疲劳裂纹、蠕变裂纹。如果运行的机件上裂纹产生扩展，就会对设备安全和生产安全造成很大威胁甚至产生严重后果。

下面介绍一些裂纹的检测技术和方法。

(1) 渗透染色法。利用渗透液来探测裂纹是一种常用的简易手段。探测时，先清理机件表面，随后将渗透液均匀地喷洒在被检查的表面上，然后再将清洗液喷洒在整个表面上，再擦去表面的混合液，由于渗透液的渗透能力较强，易渗留入空隙和裂纹中而不能被擦去，最后用显像液喷洒在整个表面上，残留渗透液的孔隙和裂纹地方因两种液体的作用而显出明显的颜色，以此查出机件的表面缺陷。

(2) 荧光渗透法。此法是在普通渗透液中加入荧光剂，用同样方式检查机件的孔隙和裂纹，紫外线的照射下，荧光渗透液渗入的裂纹、孔隙处显出强烈的黄绿色光辉，就能检出裂纹的所在。

(3) 磁粉法。该法是利用磁粉的细粒在进入由裂纹而引起的漏磁场时会被吸住留下进行检测。由于漏磁场比裂纹宽，故积聚的磁粉用肉眼容易看出，可判断裂纹的存在。

(4) 涡流检测法。此法是利用涡流裂纹探测器，探测器通上交流电时，产生磁通和涡流，当操测器接触裂纹时，迫使涡流绕过裂纹而减弱了探测器线圈绕组内的电感量而取得电压上的变化，即在仪器刻度盘上显示出相应数值或发出报警声。

(5) 射线探测法。在设备诊断中，常用易于穿透物质的 X、γ 射线来检测物体材料内部的结构或缺陷。它的作用原理类似于人体 X 射线健康检查。

(6) 超声波探伤法。此法是利用发射的高频超声波(1～10MHz)，从探头射入到被检测机件中，倘若内部有缺陷，则一部分入射的超声波在缺陷处被反射或衰减，然后经探头接收后再放大，由显示的波形来确定缺陷的部位及大小。

(7) 声发射检测法。当设备的某些部位的缺陷在外力或内应力作用下发生扩展时，由于能量释放会产生声波，并向四周传播，安放在被测机件表面上的传感器接收到这种信

号，经放大和数据处理来确定声源的位置，并判断缺陷的严重程度。在对锈蚀和裂纹十分敏感的许多设备中，这种方法得到了广泛应用。

5. 磨损监测

磨损状态是机件故障失效的又一种常见形式。由于机器在正常传动和运行中需要传递转速、扭矩和功率，这就会在机件间有相对运动的接触部位处产生不可避免的磨损，这种磨损造成的故障在机械设备中所占比重较大，同时事故带来的经济损失也较严重。

根据监测和分析油液中污染物的元素成分、数量、尺寸、形态等物理化学性质的变化便可以判断是否发生了磨损及磨损程度。

由于运动机件之间的表面接触和摩擦、磨损的连续进行，使大量的磨损颗粒进入润滑系统，对于不同的磨损阶段不仅会在磨损颗粒数量上存在差异，同时还会产生磨粒的不同特征。对磨损状态、磨损机理和磨损颗粒形态特征等的监测和研究，目前应用油液分析技术已被认为是一种简便可行的有效方法。

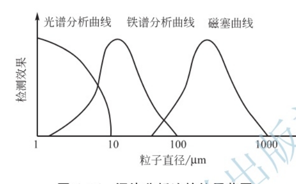


图 6.16　污染分析法的使用范围

油液分析常用的有如下 3 种方法(图 6.16)。

(1) 油样光谱分析法。利用油液中所含元素的原子发出辐射能进行光谱分析来确定其含量，并可采用原子发射光谱测定法或原子吸收光谱测定法，一般能测小于 10μm 的磨屑，多用于早期、精密的磨损诊断。

(2) 油样铁谱分析法。铁谱技术是国外 20 世纪 70 年代发明的一种新的机械磨损测试方法，主要是研究新的分离油液中机械磨损碎屑和其他微粒材质的测试技术。目前它是磨损监测中应用最为广泛的一种润滑油样分析方法，油样铁谱分析能提供磨损残渣的数量、粒度、形态和成分 4 种参数。铁谱法一般适宜于检测磨屑粒度介于 10～50μm 范围的颗粒。常用的铁谱分析仪有分析式铁谱分析仪和直读式铁谱分析仪两种类型。

(3) 磁塞检查法。磁塞检查法的工作原理是用带磁性的塞头插入润滑系统的管道内，以收集润滑油中的磨粒残渣，并用肉眼直接观察残渣的大小、数量和形状来判断机器零件的磨损状态。这是一种简便而有效的方法，通常适用于磨粒残渣的尺寸大于 50μm 的情况。

6. 泄漏检测

在设备运行中，泄漏的危害是极大的。泄漏包括气态、液态和粉尘状的介质从设备的裂缝、孔眼和空隙中逸出或进入。泄漏造成的危害有工质损失、产品流失、能源浪费、工况恶化、环境污染、设备加速损坏等，是企业中力图防止的现象。特别是对于蒸气系统、空压系统、输油系统和一些压力输送系统，防止泄漏是个重要问题。

泄漏检测的方法很多，例如皂液检漏法、声学法、压力—真空衰减测试法和触媒燃烧器等，这里不作详细介绍。

机械设备的诊断技术及应用范围见表 6－6。

表 6-6　诊断技术及其应用范围

类别	主要诊断对象	诊断技术举例
机械零件	滑动轴承、滚动轴承、齿轮	振动噪声监测、电阻法、温度检测、油液分析
传动系统	传动轴系、高速旋转件、轮轴	振动噪声监测、声发射技术、模态分析
流体机械	水泵、泵油缸、阀、空压机、风机	振动噪声监测、压力脉冲法、超声波检测、温度检测、效率监测
动力机械	发动机、涡轮机、液压马达	振动噪声监测、气流轨迹分析、效率测定、气体分析、压力脉冲法
加工机械	机床、剪切机、焊接设备	振动噪声监测、负载电流测定、火花检测法
静态机械	压力容器、结构件、管道系统	声发射技术、X 射线探伤、超声探伤、阻抗法、红外热像技术、腐蚀监测
电机电器	电机、电缆、变压器	振动噪声监测、电流分析法、绝缘诊断法、整流检测法、气相分析
控制系统	电机控制系统、液压控制系统、检测系统	卡尔曼滤波法、传递函数法、系统辨识法、统计控制理论、可变量解析法
大型整机	大型机械设备系统	综合上述各方法

6.4.4　设备的故障诊断与检测案例

下面是设备的故障诊断与检测的 8 个案例。

【设备的故障诊断与检测案例 1】

史赛克腔镜摄像系统(Stryker ENDOSCOPY 988i 3CHIP)在使用过程中突然无图像输出，操作面板上 LED 灯显示正常，关机约半小时后故障消失。故障出现无规律性可寻，但一般故障出现在使用 1～2h 后。

经厂家维修工程师检测需要更换主板，价格近 5 万元。考虑到维修费用昂贵且故障现象类似过热保护或接触不良，因此从厂家取回再次进行故障检修。打开机盖，机内除 1 块小电源板外，其余 3 块均为大规模集成芯片贴片线路板，分别为主板、模拟信号(Video)输出板和数字信号(DVI)输出板。检查电路板是否有锡焊点接触不良或板面过热变色等直观问题，但未发现。考虑热稳定性问题，使用电吹风增加热量，发现故障出现时间缩短，有一次出现烧保险丝(不是 220V 交流端保险)。此设备供电电路较为普通，220V 交流电由变压器转换成±15V 交流电，再通过 250V 1.6A 保险丝后由 2 个二极管半波整流，经 7805 和 LM2576T 得到+5V 和+12V 的直流电压输出。所烧保险为 D1 二极管前的 1.6A 保险。从电路分析可知，此保险在交流 15V 通过的情况下烧毁，说明电路短路严重。检测整流二极管 D1、D2 未见异常，拔掉电源板电压输出接头，开机直流电压正常。检查各板电源输入未见短路。考虑到 3 块电路板的所需电流不大，因此电源板出现问题的几率较高。用示波器检测二极管半波整流后的波形，D1、D2 二路波形对比发现 D1 较不稳定。正想将电容拆出来观察半波波形时，保险再次烧毁，检测 D1 击穿双向导通，D2 正常。更

换 IN4001 二极管(原为 IN4004)，通电开机正常使用。试机 3 天均运行正常后送回手术室。

分析：由于二极管单向截止不稳定时造成电压(+5V)输出异常，看似为图像处理部分电路故障。由于二极管未完全击穿，故在冷机状态和未开机检测时未能检查出来。接触不良和过热导致问题在设备故障中占绝大部分，而电源部分由于大电流高功率电路又是故障的高发点。在故障分析判断中可以采取满负荷运行或使用替代电源的方式来排除是否为电源部分问题。

【设备的故障诊断与检测案例 2】

上海人造板厂木材生产线高速双面板滚磨光机试车发现异常振动，监测发现原来机架导向辊转动频率接近机械固有频率，产生共振，所以退回重新设计(设计优化)。

【设备的故障诊断与检测案例 3】

株洲化工厂引进国外水环离心压缩机，验收实验有异常声响，诊断发现振动超标，向外商索赔被拒绝。将证据拿出来，振动有 20 倍工作频率，判断内部有 20 个叶片不平衡，成功索赔 5 万美元(挽回损失)。

【设备的故障诊断与检测案例 4】

热成像技术可以成功通过电机发热不均匀判断其冷却不良、短路、电压不平衡和轴承失效等故障，还可以检测过热的齿轮箱，润滑不良的轴承，炉子耐火材料的损坏，管道、容器内的堆积物等问题(预防维修)。

【设备的故障诊断与检测案例 5】

贵州航管中心一个价值 1 万多马克的雷达上的控制电路板出现故障，最后只是一个运放和一只二极管损坏，更换的元件成本仅 10 元。原本贵州航管中心是不准备修的，但是因为厂家停产而无法更换电路板，不得不修，否则损失的就不仅仅是 1 万多马克了。通过电路测试仪进行测试和深度维修，迅速解决问题。

【设备的故障诊断与检测案例 6】

浙江诸暨某塑胶公司有一台意大利的 6 色印刷机(价值数千万元)，只能出 2 色，有 4 块驱动板出现故障。为了维修损坏的电路板，请有关机构将电路板的原理图绘制出来，但并没有解决电路板的故障。使用电路维修测试仪检测，仅用半天的时间就解决了问题。

【设备的故障诊断与检测案例 7】

费森尤斯血透机(4008B)开机自检出现“BRAM ERROR”报警，机器无法进入正常透析状态。

系统启动问题直接考虑 CPU 部分的 RAM 部分故障。考虑到此机器前段时期出现过几次“BRAM ＃ XXXX XXXX XXXX”报警，但关机复位重启后又工作正常，因此 NVRAM 故障几率较大。此设备为双 CPU 板模式，在 CPU－1(LP631)和 CPU－2(LP632)上均有 NVRAM，采用另外一台正常工作的 4008B 上的 CPU 板进行替代对比，确定为 LP631 板上的 NVRAM (MK48Z08)故障。

NVRAM 是非易失性 RAM，在切断电源后仍能保持所存储数据的随机存取。MK48Z08 也称为 ZEROPowE RAM，是一个 28 脚 8k×8 位的 liOn—volatile static RAM。更换新的 MK48Z08，将 4008B 机背后的“工作状态”开关拨至“调整状态”，开机。将 LP631 板上的 DIP—Switch Array2 开关上拨后再下拨。进入“Calibration”选单，进入“NOVRAM”子选单中的“Init NOVRAM”进行初始化，然后再在“SETUP MENU”

选单中选择“STORE DEFAULT VALUES”选单，将系统默认信息写入 54BRAM。关闭电源重启后按信息提示完成系统必要的未校准项目的校准，机器恢复正常运行。

分析：在采用单片机系统的设备中会遇到许多使用非易失性 RAM 来存储设备启动配置信息的设计，一般这类存储芯片均带有锂电池(电池有效期一般为 5 年)，当电池失效时会导致设备系统的启动配置数据丢失而不能正常启动工作，因此当系统出现此类故障时可以考虑是否是此类芯片失效。一些设备在更换芯片后只需要简单地调整设置数据信息便可以正常使用，但一些设备(如胃肠 X 线机等)则需要厂家专用维修软件来配合设置，对于后一种情况建议采取在存储芯片上焊加两个并联锂电池盒定期提前交替更换锂电池，避免数据丢失。一般设备故障几率由高至低依次为电源及产生热能的部件、信息处理部件、信息收集及信息执行部件。对于上述 3 例故障案例分析可看出，除了在充分了解故障设备功能运行结构外，在处理分析故障时还应将大系统逐步划分成各功能小系统，以此逐步缩小故障判断的范围。在大系统综合分析判断出局部时往往以单一功能模式来分析判断故障点更为直接有效。

【设备的故障诊断与检测案例 8】

机场进口导航设备的故障案例。NM3500/7000 系列 ILS 墙式电源 SC—8 组件故障维修(共 5 台)，组件功能：设备电源(交流 220V 变直流 24V 开关电源，带辅助功能)。故障现象：无 24V 输出，无显示，有的烧保险。故障分析及维修情况：该电源为交流 220V 变直流 24V 开关电源，带限流、故障诊断等辅助功能，所以在维修时按开关电源工作原理进行故障分析。在所维修的 5 台电源中，故障主要集中在整流硅堆、调整管、压控振荡器及其外围电路、反馈电路等部分元器件损坏。维修的 5 台电源有的运行了 3 年多，有的运行了 2 年多，都没有出现任何问题。

结论：进口导航设备出现故障后，通过分析能够判断出故障具体出在某组件上，有条件的可以更换故障组件排除故障，但一般情况下，在引进进口导航设备时，除国外厂家所提供公共部分备件外，其他部分几乎没有备件，如果这些部分组件出现故障只能通过订购新备件、送修和自己维修 3 种方式加以解决。近年来，机场进口导航出现的故障大都通过自己维修的方式加以解决，这种方式有 3 个方面的好处：一是可以节约经费，降低维护维修成本。如果从国外订购备件，价格一般都比较昂贵，组件出现故障往往是组件中部分元器件烧坏或变质造成，只要更换烧坏的元器件就能排除故障，这样可以大大降低成本。二是可以缩短故障排除时间。如果从国外订货，从询价、签订订货合同到收到备件一般需要 4 个月左右的时间，而自己维修，有的故障在很短的时间内就能排除。三是可以锻炼队伍，提高维护人员素质。近年来，随着大批进口导航设备的引进，提高了设备的稳定性和可靠性，但由于进口导航设备的可维修性不高等方面的原因，在通信导航系统中维护人员的技术素质已呈下降趋势，动手能力较差，有的甚至只会开关机，设备出现故障后没有应对的办法，这也是目前民航通信导航部门所面临的一大难题。

思　考　题

1. 简述故障的定义及设备故障发展规律。
2. 写出设备可靠度计算公式。当故障率为常数时，写出可靠度公式。
3. 叙述故障的分类情况。

4. 机械设备中常见的故障有哪些？产生这些故障的原因大体有哪几个方面？

5. 简述收集故障信息资料的主要内容和注意事项。

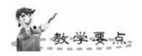
6. 故障常见的分析方法有哪些？

7. 叙述设备监测和故障诊断的主要方法。

8. 一设备平均寿命为 7000 小时，其故障分布服从指数分布规律，试求该设备使用 500 小时、600 小时、800 小时后的可靠度。



第7章 设备的可靠性管理



知识要点	掌握程度	相关知识	应用方向
设备可靠度的概念及故障分布规律	熟练掌握	可靠度的基本概念，可靠性分析，设备故障的分布规律	掌握设备可靠性分析和设备故障的分布规律，提高设备的可靠性，延长设备使用寿命，确保企业安全生产，提高经济效益
设备的可靠度计算	了解	设备的可靠度计算，系统的可靠度计算	了解设备可靠度的计算方法，了解系统的可靠度计算
设备的可靠性设计	了解	可靠性设计的内容、原则和基本程序，可靠性预测，设备可靠性设计要点，可靠度分配	了解设备的可靠性预测方法，了解设备的可靠性设计及可靠度分配
设备维修性	了解	维修性的定义，维修性的相关参数，设备的有效度	了解设备维修性的内容

导入案例

1986年1月28日，美国航天飞机“挑战者号”由于一个密封圈失效，造成起飞76秒后爆炸，7名宇航员丧生，12亿美元的经济损失；1992年我国发射“澳星号”时由于一个小小零件的故障，发射失败，造成了巨大的经济损失和政治影响，由此可见提高产品的可靠性意义重大。图7.1所示为卫星发射时的场景。



图7.1 卫星发射场景

随着科学技术的迅速发展，可靠性理论与应用技术越来越为企业所关注。由于设备在现代工业生产中的地位日益增强，因设备故障导致的直接或间接损失也相应地增大，因此，对可靠性理论的研究和应用就成为现代设备管理中的重要课题。提高设备的可靠性可以减少故障，延长设备的使用寿命，对确保企业安全生产和经济效益有着不可忽视的作用。

可靠性问题是20世纪40年代提出来的。在此期间，电子工业飞速发展，而电子元件的可靠性却远不能适应这种发展需要。根据美国军方20世纪50年代初期的统计，雷达和声纳设备因故障而不能工作的时间分别占84%和45%，某些机载电子装置在每飞行1h所需的维修时间竟长达100h之多。鉴于此，美国于20世纪50年代开始对可靠性问题进行了系统的研究，并于1957年提出了研究报告。到20世纪60年代，可靠性理论传入欧洲、日本，在许多领域内得到了广泛的应用。现在，许多系统和设备设计中都将可靠性作为一个重要的技术指标加以考虑，可靠性与性能、成本等同时作为评价系统和设备优劣的主要指标。在此基础上逐步形成了以可靠性为中心的维修思想，对系统和设备的可维修性研究也是在对可靠性理论研究的基础上进行的。

7.1　设备可靠度的概念及故障分布规律

7.1.1　可靠度的基本概念

要理解可靠度的概念，就必须要知道可靠性的定义。

1. 可靠性的定义

所谓可靠性，是指系统、设备或零部件在规定的条件下和规定的时间内完成规定功能的能力。

由于可靠性指标不能用仪表来测量，要想衡量设备的可靠性就必须进行可靠性研究、试验和分析，这样才有可能作出正确的估计和评定。

设备的可靠性与规定条件是分不开的。所谓的条件包括以下几方面。

(1) 环境条件：如温度、湿度、振动、冲击、粉尘等。

(2) 使用条件：如连续运转或者间断运转、满载或空载等。

(3) 维护保养条件：如操作人员、维修人员的专业素质。

同样设备在不同条件下表现出的可靠性是不同的，条件越恶劣，可靠性就越差。

设备的可靠性与规定的时间有着密切的关系。规定时间可以是若干年，也可以是若干小时乃至一次性动作。一般说来，工作时间越长，可靠性就越低。

设备的可靠性与规定的功能有关。这里说的功能是指设备应有的技术指标。

综上所述，设备可靠性是贯穿整个寿命周期全过程的一个时间性指标，设备的可靠性管理就是它的综合质量管理，从设计规划、制造安装、使用维护到修理报废为止，可靠性始终是设备的灵魂。

2. 可靠度的定义

所谓可靠度，是指系统、设备或零部件在规定的条件下和规定的时间内完成规定功能的概率。

可靠度表示的是设备运行到某一时刻后，下一时刻继续运行并能正常履行功能的概率，是对设备可靠性的概率度量。

相应地，设备在规定时间内发生故障的概率就是设备的不可靠度，或者称之为累积故障率。

如果以 $R(t)$ 表示设备在规定的时间 t 内的可靠度，而 $F(t)$ 为设备在同一时间内的不可靠度，则有

$$R(t)+F(t)=1 \tag{7-1}$$

可靠度的取值范围

$$0\leqslant R(t)\leqslant 1$$

当时间 t 趋近于 0 或趋于∞时，设备的可靠度分别为

$$R(0)=1,\ R(\infty)=0$$

设备的可靠度又可以分为固有可靠度、使用可靠度和工作可靠度。

(1) 固有可靠度 R_1。设备在设计、制造过程中形成的可靠度。固有可靠度是设备的固

有属性，在设计过程中受到材料的选择、零部件尺寸确定、加工工艺等诸多环节的影响，而在制造中又受到机加工、热处理、装配等诸多因素的制约。

（2）使用可靠度 R_2。设备在使用过程中，使用者的操作及维护能力，环境、运输和保管等使用条件对降低固有可靠度 R_1 的概率。

（3）工作可靠度 R_0。设备在规定的工作条件下和规定的工作时间内履行规定功能的概率。

三者的关系可以表示为

$$R=R_1\times R_2 \tag{7-2}$$

7.1.2　设备的可靠性分析

为保证设备的长时间无故障运行而进行的分析处理过程就是设备的可靠性分析。设备之所以发生故障，其最主要的原因是设备的可靠性差。所谓可靠性，是指设备机能在时间上的稳定性程度，或者说在一定时间内不发生问题的程度(概率)。设备的可靠性由固有可靠性和使用可靠性构成。所谓固有可靠性，是指该设备由设计、制造、安装到试运转完毕整个过程所具有的可靠性，是先天性的可靠性。

当固有可靠性低或使用可靠性低，或这两种可靠性都低时，设备就有可能发生故障。对故障采取对策，重要的是对故障原因在固有可靠性和使用可靠性上进行识别。当固有可靠性提高时，提高使用可靠性就比较容易；而当固有可靠性低时，要提高使用可靠性就十分困难。因此，从根本上讲，要防止故障的发生，最有效的对策就是注意设备固有可靠性的形成，即重视设备的设计、制造、安装和调试全过程。

可靠性分析的意义如下。

（1）提高设备的可靠性可以防止故障和事故的发生，尤其是避免灾难性的事故发生。

（2）提高设备的可靠性能使设备总的费用降低。

7.1.3　故障的分布规律

1．*指数形式分布规律*

由于故障是随机发生的，因此在每个相等时间间隔中出现故障的概率是相等的，机载单位时间内故障率 λ 是一个常数。

指数分布是设备可靠性分布中最为广泛的一种，是连续单参数分布。用一个简单的指数分布函数便可以推导出设备的可靠度函数即

$$R(t)=\mathrm{e}^{-\lambda t} \tag{7-3}$$

指数分布的故障分布密度函数 $f(t)$、故障 $Z(t)$ 和平均寿命 θ 分别服从下列公式

$$\left.\begin{aligned} f(t)&=\lambda\mathrm{e}^{-\lambda t}\\ Z(t)&=\lambda\\ \theta&=1/\lambda \end{aligned}\right\} \tag{7-4}$$

在这种情况下，平均寿命也就是其分布参数 λ 的倒数，且 MTBF 与 MTTF 相等。

当时间 t 等于平均寿命 θ 时，根据公式(7-3)，可靠度 $R(\theta)=\mathrm{e}^{-1}=0.368$。设 $t=\theta/2$，则 $R(\theta/2)=\mathrm{e}^{-0.5}=0.606$。可见，如果将修理周期定位在 $\theta/2$，则可靠度可以大大提高。

不过，如果修理周期过短，修理费用增大，又可能造成过剩维修。因此，有必要进行可靠性费用分析而加以综合评定。

由于指数分布函数的计算和处理很方便，又适合复杂设备进入使用阶段随机故障期的故障分布，故在可靠性工程方面应用很广。

【例7-1】 某设备经过7000h的观察，发生了10次故障，故障发生的时间是随机的。假设故障的分布服从指数分布，试求该设备的平均寿命，以及从开机到工作1000h后的可靠度。

解： 平均寿命为 $\theta=7000/10\text{h}=700\text{h}$。工作1000h后的可靠度为：$R(1000)=\mathrm{e}^{-1000/700}=\mathrm{e}^{-1.429}=0.239$。

【例7-2】 某系统由3个分系统串联组成，系统和分系统故障分布均为指数分布时，若各个分系统的MTBF分别为200h、80h、300h，则整个系统的MTBF是多少？

解： 根据指数分布的特点，如果 λ_s 表示整个串联系统的故障率，则该 λ_s 就是各分系统故障率之和，则

$$\lambda_s=\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3=1/200+1/80+1/300=1/48$$

故 MTBF=48h。

2. 正态分布规律

正态分布是数理统计中的经典分布，是双参数连续分布。下面用正态分布函数来表示故障的分布密度的可靠度函数

$$R(t)=1-\int_0^t N(\theta,\sigma^2)\,\mathrm{d}t \tag{7-5}$$

两个参数，母体平均值的估计值 θ 和母体方差的估计值 σ^2 分别为

$$\theta=(1/n)(t_1+t_2+\cdots+t_n)=(1/n)\sum t_i \tag{7-6}$$

$$\sigma^2=[1/(n-1)]\sum(t_i-\theta)^2=[1/(n-1)](\sum t_i^2-n\theta^2) \tag{7-7}$$

对于标准正态分布 $N(0,1)$，如果将标准离差 u 作为变量，则 u 的定义为

$$u=(t-\theta)/\sigma \tag{7-8}$$

则 $u\sim N(0,1)$。

于是可靠度函数即可换成

$$R(t)=1-\Phi(u)=1-\int_{-\infty}^{u}\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\mathrm{e}^{-t/2}\,\mathrm{d}t \tag{7-9}$$

式中的 $\phi(t)$ 称之为正态概率积分，其值可以查正态分布表得到。

【例7-3】 设备A的故障分布服从于正态分布 $N(4000,1200^2)$，与其串联组合的电气装置B的故障成指数分布，$\theta=9000\text{h}$，试求系统A、B运行1700h的可靠度。

解： 先求 $t=1700\text{h}$ 的标准离差

$$u=(t-\theta)/\sigma=(1700-4000)/1200=-1.92$$

设A的可靠度为 R_A

$$R_A = 1 - \phi(u) = 1 - \phi(-1.92) = 1 - 0.02743 = 0.97257 = 0.973$$

设 B 的可靠度为 R_B

$$R_B = e^{-t/\theta} = e^{-1700/9000} = 0.828$$

再求系统的可靠度 R_{AB}

$$R_{AB} = R_A R_B = 0.973 \times 0.828 = 0.8056 = 0.806$$

3. 威布尔分布规律

威布尔分布是常见故障中较为复杂的一种，是三参数的连续分布，它是指数分布和正态分布的补充。

可靠度函数 $R(t)$ 可用威布尔分布表示为

$$R(t) = e^{-(t-c)/b} \tag{7-10}$$

对应的故障分布密度函数 $f(t)$ 和故障率函数 $Z(t)$ 分别为

$$\left.\begin{aligned} f(t) &= \frac{a}{b} \times (t-c)^{a-1} \times e^{\frac{-(t-c)^a}{b}} \\ Z(t) &= \frac{a}{b} \times (t-c)^{a-1} \end{aligned}\right\} \tag{7-11}$$

式(7-10)、式(7-11)中，a——形状参数，$a>0$；b——尺度参数，$b>0$；c——位置参数，且 $c \leqslant t$。

当 $a=1$ 时，$Z(t)=1/b$，威尔分布将退化为指数分布，当 $a=3 \sim 4$ 时，威尔分布密度曲线与正态分布密度曲线极为近似。其他参数的变化这里就不作进一步讨论了。

7.2 设备和系统的可靠度计算

7.2.1 设备的可靠度计算

设备可靠度的概念已经在前一节中提过了，定量地分析设备的可靠性是运用数学方法进行的。由于表示设备可靠性的各种特征量都与该设备的故障分布有关，如果知道分布函数，就可以求出可靠度、故障率等各项数值。即使不知道具体的分布函数而知道其分布类型，也可以通过对分布的估计以求得某些可靠度的估计值。

可靠度函数中包括 4 项基本的函数：可靠度函数 $R(t)$、故障分布函数(累积故障概率函数)$F(t)$、故障分布密度函数(累计故障率密度函数)、$f(t)$ 和故障率函数 $\lambda(t)$。它们之间的函数关系为

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{d[1-R(t)]}{dt} = \frac{-dR(t)}{dt} \tag{7-12}$$

上式中的负号可以理解为 $R(t)$ 值是随时间的推移而由 1→0 变化，而 $F(t)$ 则有 0→1 变化，在同一个单位时间内两者的变化数值是相等的，只是方向相反。

将上式积分，则有

$$F(t)=\int_0^t f(t)\mathrm{d}t \tag{7-13}$$

由概率计算的互补关系，可靠度函数为

$$R(t)=1-F(t)=\int_t^{\infty} f(t)\mathrm{d}t \tag{7-14}$$

故障率的函数可以表示为

$$\lambda(t)=\frac{f(t)}{R(t)}=\frac{-\mathrm{d}R(t)}{R(t)\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}[\ln R(t)]}{\mathrm{d}t} \tag{7-15}$$

设备的平均寿命与可靠度函数之间的关系式为

$$\bar{t}=\int_0^{\infty} R(t)\mathrm{d}t=\int_0^{\infty} tf(t)\mathrm{d}t \tag{7-16}$$

各项数据之间的关系如图 7.2、图 7.3 所示。

上述基本函数式在实际运用中根据故障分布的不同表现形式各异。对于机械设备来说，最常见的失效形式是随机故障和疲劳磨损故障，前者是事前未曾预想到的原因造成的，如轮胎被钉子扎破；后者则是由长期工作造成的损害导致的，如轴承、齿轮的疲劳破坏等。可靠度函数由不同的故障形式而服从不同的分布规律。随机故障通常服从于指数分布规律，疲劳故障则一般服从威布尔分布规律。需要指出的是，威布尔分布涵盖了几种不同的分布规律，其中包括指数分布规律和正态分布规律。

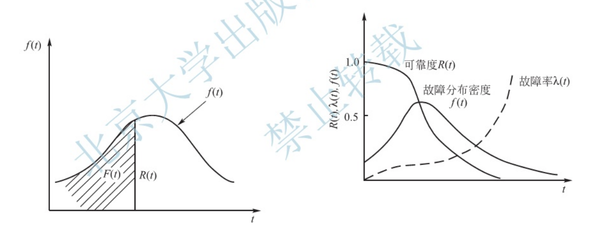


图 7.2　故障分布函数、故障分布密度函数与可靠度函数之间的关系

图 7.3　可靠度函数、故障分布密度函数、故障率函数曲线

7.2.2　系统的可靠度计算

可靠度的计算方法在前面已经进行叙述了，但是常常碰到的不是单个设备的可靠度计算，而是由多个设备组成的一个系统，现在就来介绍一下设备系统的可靠度计算。

对于设备系统最常见的有 3 种，即串联系统、并联系统、混合系统。现在就来逐一介绍各种系统的可靠度计算。

1. 串联系统的可靠度计算

假定设备系统中各个元素的可靠性是独立的，即这一台设备的状态不会影响另一台设

备的状态；这一构件的功能是否正常也与另一个零件是否失效无关。按照数学中概率论的方法，系统的串联就是事件的“交集”。

设串联元素的可靠度分别为R_1，R_2，…，R_n，则系统的可靠度为

$$R=\prod_{i=1}^{n}R_i \tag{7-17}$$

【例 7-4】 一条由20台机床组成的自动流水线，设每台机床的可靠度为0.9，则这条流水线在规定的时间内实现其功能的概率R为

$$R=0.9\times0.9\times0.9\times\cdots\times0.9=0.9^{20}=0.1216$$

从上面的例子中可以看出，串联系统的可靠度是比较低的。如果要求系统的可靠度$R=0.9$，对于有20台设备组成的子系统来说，每台设备的可靠度应为$R_i=0.9947$，这样高的可靠度对于设备的制造、安装和维护会带来相当大的困难。

2. 并联系统的可靠度

在由几个元素组成的并联系统中，只要有一个元素在发挥其功能，则系统就能保持工作状态。在这种情况下相当于概率论中所说的事件的“并集”。

设并联元素的可靠度分别为R_1，R_2，…，R_n，则此系统处于故障状态的概率为$(1-R_1)\cdot(1-R_2)\cdot(1-R_n)$。因为可靠度与不可靠度之和为1，所以，并联系统的可靠度为

$$R=1-\prod_{i=1}^{n}(1-R_i) \tag{7-18}$$

【例 7-5】 由5个可靠度均为0.9的元素并联的系统，其可靠度为

$$R=1-\prod_{i=1}^{5}(1-0.9)=0.99999$$

由上例可见，并联后的可靠度大于它的组成元素的可靠度，这是在设备方案规划、技术设计和布局安装过程中采用冗余技术的根据。

3. 混合系统的可靠度

混合系统可靠度的计算没有一成不变的公式，而需要分别对串联，并联的具体方式进行分析。它的计算是以串联系统的可靠度计算公式和并联系统的可靠度公式为基础来进行的。下面就通过一个例子来进行详细说明。

【例 7-6】 如图7.4所示的混联系统，计算系统的可靠度。

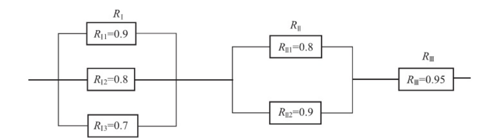


图 7.4 混联系统

解：先求出各个子系统，R_{I}、R_{II}、R_{III}，最后计算出 R。则

$R_{\mathrm{I}}=1-(1-R_{\mathrm{I}1})(1-R_{\mathrm{I}2})(1-R_{\mathrm{I}3})$

$R_{\mathrm{II}}=1-(1-R_{\mathrm{II}1})(1-R_{\mathrm{II}2})$

$R_{\mathrm{III}}=R_{\mathrm{III}}$

$R=R_{\mathrm{I}}R_{\mathrm{II}}R_{\mathrm{III}}$

将图中的数据代入以上各式，得

$R=[1-(1-0.9)(1-0.8)(1-0.7)][1-(1-0.8)(1-0.9)]\times 0.95=0.9254$。

在设备管理中，是采用串联还是并联，或者是混联形式主要取决于生产的工艺过程，要看它各工序是否能独立地进行作业，即决定工艺过程的连续性质。

7.3　设备的可靠性设计

设备实际工作时间的可靠度 R_0，除受固有可靠度 R_1 的影响外，还受到使用可靠度 R_2 的影响，这三者之间的关系参加式(7－2)$R_0=R_1R_2$，R_2 是指设备在使用过程中受到环境条件、操作、维修、储运等因素的影响。R_1 是指设备在设计、制造时内在的可靠度，这是设备可靠度最基本、最重要的方面，其中以设计技术所占的比重最大。所以设备在设计过程中就必须研究可靠性设计，然后考虑制造、使用、维修直到报废的整个寿命周期的"可靠性管理"。

7.3.1　可靠性设计的内容、原则和基本程序

1．内容

设备可靠性设计是决定设备可靠性好坏的关键。可靠性设计的内容包括以下几方面。

(1) 研究产品的故障物理和故障模型。

(2) 确定产品的可靠性指标及其等级。

(3) 合理分配产品的可靠性指标值。

(4) 以规定的可靠性指标值为依据对零件进行可靠性设计。

(5) 进行可靠性评审等工作。

2．原则

为保证所设计的设备达到预定的可靠性，在可靠性设计中一般遵循以下几个原则。

(1) 元器件、零部件的选择要标准化、系列化，这样一方面提高了元器件、零配件的互换性，另一方面这些元件的可靠性数据也比较容易收集。

(2) 尽量采用行之有效的标准结构和典型线路，使整个设备结构标准化、简单化、积木化、插件化，在保证完成设备规定功能的情况下设计能使组装容易、维修方便、提高可靠性的设备。

(3) 尽量采用成熟的工艺规程和习惯的操作方法。

(4) 在可靠性技术设计时，采用新的设计方法，提高设计水平。

3．基本程序(图 7.5)

(1) 设备可靠性指标的论证与确定。

（2）设备的可靠性预测和可靠度分配。

（3）设备的可靠性改善。这一工作是在设备研制完成并经过各种实验后进行的，主要分析其可靠性方面暴露的问题，采取必要的措施，使设备固有的可靠度得到改善。

（4）设备可靠性设计定型。

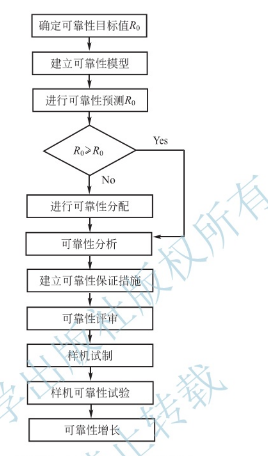


图 7.5　可靠性设计基本程序

7.3.2　可靠性预测

当系统、设备的设计方案初步确定后，这时尚无生产方案，则不能对设备进行可靠性试验，但可以利用设备的零部件或者系统的各组成单元的失效率数据来预测系统、设备实际工作可能达到的可靠性，这就称作可靠性预测。

开展可靠性预测的目的是对各种设计方案进行评价，以确定所提出的设计方案是否满足系统的可靠性要求；了解设备和部件可靠性之间的关系，找出对设备失效率影响最大的薄弱环节，并加以改进；在满足可靠性要求的前提下，选用经济的元器件、零部件来降低成本。

可靠性预测的方法有以下两种。

（1）根据故障率或平均无故障工作时间估计零部件、分系统或系统可能达到的可靠度。

（2）计算系统在特定的应用中符合性能和可靠性要求的概率。这是以零部件和结构件的性能值的误差，以及随时间的推移所发生的变化为数据，并将数据加以综合来求得系统、设备性能的变动程度的一种方法。

国内外已发表了各种具有代表性的零部件故障率数据表和手册，可供进行可靠性计算时参考。但这些数据表中的故障率是零部件在标准工作条件下测得的，一般叫做基本故障率 λ_{0i}，使用时还需要乘上适当的修正系数 K_i，K_i 通常叫做严格系数。因此，实际故障率为

$$\lambda_i = K_i \lambda_{0i} \tag{7-19}$$

【例 7-7】 某发射系统的基本失效率 $\lambda_{0s}=4.1\times10^{-5}/h$，其环境严格系数 K_i：普通室内为 1，车辆、船舶为 10，飞机为 50，火箭为 700，求该系统在船舶、飞机、火箭上使用时的失效率。

解： 由题意及计算公式分别计算如下

（1）系统在船载时失效率为

$$\lambda_{S1}=10\times4.1\times10^{-5}h=4.1\times10^{-4}/h$$

（2）系统在机载时失效率为

$$\lambda_{S2}=50\times4.1\times10^{-5}h=2.05\times10^{-3}/h$$

（3）系统在火箭上应用时失效率为

$$\lambda_{S1}=700\times4.1\times10^{-5}h=2.87\times10^{-2}/h$$

7.3.3　设备可靠性设计要点及特点

1. 设备可靠性设计的要点

1）确定零件合理的安全系数

安全系数是指零件在理论上计算的承载能力与实际所能承担的负荷之比值。确定安全系数时应考虑以下几个因素。

（1）环境条件的影响，如温度、湿度、冲击、振动等。

（2）使用中发生超负荷或误操作时的后果。

（3）为提高安全系数所付出的经济代价是否合算等。

安全系数的提高应通过优化结构设计来达到，而不是简单地通过增加构件尺寸、增加重量或增加费用等方法来实现。

2）储备设计(冗余设计)

储备设计是指将若干功能相同的零部件作为备用机构，当其中某个零部件出现故障时，备用机构马上启动工作，使机器仍能保持正常工作。例如，滚动轴承中的双排滚珠，当其中一排损坏时，另一排仍可以维持正常工作。

采用储备设计的产品一般是有剧毒的化工设备、故障率较高的设备、流水生产线上的关键设备或一旦出现事故损失较大的设备。

储备设计的目的在于提高可靠性，如果盲目采用，或设计不当将会因增加体积、重量和费用而导致相反的效果。

3）耐环境设计

在产品设计时要考虑环境条件的影响，应进行耐机械应力(振动、冲击等)设计和抗气候条件(高温、低温、潮湿、雨淋、日晒、风化、腐蚀等)设计。设计时应预计产品实际使

用的环境条件，并采取相应的耐环境措施。为此，在设计、试制阶段要进行实验室模拟或现场作预计环境条件下的可靠性试验，如耐久性试验、寿命试验、环境试验、可靠性测定和可靠性验证等试验。

4）简单化和标准化设计

设计中尽量采用已经成熟的技术及结构，尽可能减少零部件数量，采用标准化零部件，以保证整机系统可靠性目标的实现。产品简单化和标准化是提高可靠性的关键，即产品在满足功能要求的前提下，其结构越简单越好，因为零部件数少，发生故障的机会就少。在简单化和标准化设计中应注意如下几点。

（1）应避免单纯追求高水平及复杂化，尽量选用标准件。

（2）要处理好极限设计，设计时应考虑并保证产品在各种恶劣条件下工作的可靠性，可以通过保险机构、连锁机构等安全装置或安全措施来解决。

5）提高结合部的可靠性

机械产品都是由若干零部件组成的，故零部件间的结合部位很多。结合部位的配合性质有相对静止的，也有相对运动的，还有要求密封的，所以相应的有各种连接方式，如有螺栓螺母连接、焊接连接、销子或键连接、齿轮齿条连接、滑板与导轨连接、主轴与轴承连接，以及法兰、密封圈与转轴或箱体连接等。这些结合部位的故障率一般都比较高，所以极易诱发其他故障的发生。为此，在可靠性设计时应特别注意设法提高结合部位的可靠度，即保证结合部的连接强度、刚度及配合精度和密封要求等。

6）结构安全设计

在结构设计时要做到结构合理，从根本上消除危险与有害因素，使操作者彻底从危险部位或危险状态下解脱出来，这是提高产品可靠性和安全性的根本出路。例如，铁路上两节车厢之间的联接器，传统的方法用的是连杆插销联接器，工人在脱开或连接两节车厢时必须在接近两节车厢之间进行拔出或插入销子的操作，这时工人就处于可能被两节车厢撞击或挤伤的危险部位中，随时都可能被撞伤。而现在使用的车辆自动联接器不需要工人到两节车厢之间直接操作，而是利用低速相碰触自动连接。这样根除了危险因素，也就不会发生被车厢撞伤的事故了。

7）设置齐全的安全装置

作为可靠性较高的现代化机械设备，已具备也必须具备必要的安全装置，以便用来防止超载、超行程、超温、超压、误操作、误接触、外部环境突变(如停电、停气等)而引起的事故，以及限制事故的扩大。一般都是通过在线监测仪器及时捕捉异常信号的变化，当超限时立即发出警报信号、故障显示或自动停机等。这是设计、制造部门应完成的任务，绝不应将危险与有害因素等事故隐患留给用户。

8）维修性设计

维修性设计不仅仅是定性考虑过去传统设计中所考虑的易修性设计(易装拆、易更换、易见性、易接近的可达性)，更主要的是使设计可维修系统满足一定维修性指标，确立维修策略(维修方式确立、维修结构及维修周期的估计、备件数量的预计等)及维修管理(维修人员组织培训、维修设施提供、维修资料、后勤保证及数据管理等)。

9）人机界面设计

人机界面是人与机器交换信息的环节，如果人机界面设计不当，人与机器相接触造成能量逸出将直接会导致事故发生。所以在人机界面设计时，即人机工程设计时，必须考虑

人的生理、心理因素，考虑人机协调关系，如人的正常生理能力和允许限度。要求所设计的显示器长时间观察或监听而不易疲劳；操纵机构应设计成在操作时需要用的操作力不大，有“手感”而不沉重；控制器和显示器应尽量少而集中，配置合理，避免操作失误；且设有连锁保护装置，做到即使误操作某一控制器也不会引起事故。

人机工程设计要点有三方面：一是保证系统向操作人员传达信息的可靠性；二是保证人向系统发出指令、信息或操作的可靠性；三是工作环境设计，使工作环境适合人的生理特点，以便减少操作人员的操作疲劳，降低操作的失效概率。

10）防误设计(防愚设计)

防误设计是在设计上采取必要的措施使操作者即使在误操作的情况下也不会引起故障。

11）失效安全设计

失效安全设计是指所设计的系统中一旦发生某种故障也能确保系统本身及人员或环境的安全。

12）概率设计

概率设计针对零件或结构发生的某种失效模式，按干涉模型而设计，赋予所设计产品一定的可靠性。

2. 设备可靠性设计的特点

可靠性既是目的(产品质量指标)，又是方法手段——以可靠性设计的手段达到产品可靠性质量指标之目的。这是它区别于其他一切理论和设计工具的主要特点。可靠性设计具有明确的可靠性指标值，机械产品常用的指标有：产品无障性、耐久性、维修性、可用性、经济性等 5 个方面。与传统设计方法不同，可靠性设计如实地将载荷、几何尺寸、材料性能数据等设计变量当做随机变量来处理，使设计结果更符合客观实际。故由传统的定值变量安全系数设计法进入可靠性设计法无疑是机械设计史上一个重大突破。

设备可靠性设计的主要特点如下。

(1) 将载荷、材料性能和强度及零部件的尺寸都视为属于某种概率分布的统计量。

(2) 采用了可靠度或其他可靠性指标来确保结构的可靠性，而传统机械设计是用安全系数来保证结构的可靠性的。

(3) 对结构的安全系数进行了统计分析，得出的安全系数比传统的安全系数更符合实际。

7.3.4　可靠度分配

可靠度分配就是根据系统的可靠度目标合理调配各分系统的可靠度指标。可靠度分配的基础是可靠性预测。可靠性预测是由元器件、零配件、部件、分系统到系统自下而上进行的。可靠度分配正好相反，一般由系统、分系统、部件、零配件到元器件进行分配。可靠度分配是落实系统可靠度的过程，是可靠性设计的一个重要环节。

可靠度分配是一项很细致的工作，需要对技术、费用、安全、维修等各个方面进行综合平衡，往往要进行多次分配才能趋于合理。

可靠度分配的原则有以下几条。

(1) 对关键的分系统(或部件)分配的可靠度应该高一些。

(2) 对比较复杂的分系统(或部件)分配的可靠度应该低一些。

(3) 对于环境、使用条件不好的分系统(或部件)分配的可靠度应该低一些。

(4) 对于维修性好的分系统(或部件)分配的可靠度应该低一些。

在使用这些原则时还需要根据各种因素进行平衡协调。

为了便于分析大型、复杂的工业成套设备，可以按照功能和结构等特点将其中的设备、部件和零件排成一个有不同层次的结构体系，例如，成套设备级、设备级、部件级、零件级。在每一功能等级上，它们既可以串联、并联、也可以混联。这样可以测得所有零件的平均故障率或平均无故障工作时间，最后按层次上推分析，最后算出成套设备的可靠度。

7.4　设备维修性

7.4.1　维修性的定义

所谓维修性，就是在规定条件下使用的设备，在规定时间内按规定的程序和方法进行维修时保持或恢复到能完成规定功能的能力。

绝大部分机械设备都是可维修的，即当设备发生故障丧失功能时，可以通过维修来恢复其功能，使设备的可靠度重新建立起来。

维修性通常表现为：易鉴定性、可达性、零部件的易置换性、易充填性、易排空性、易润滑性、易拆卸性、易调节性。

维修性是设备的重要特性之一。维修性好的设备意味着进行维修时能以较低的消耗(劳务、材料、备品配件、工具、设备等)在较短的时间内完成任务。

设备的维修性主要取决于以下 3 个方面。

(1) 设备的规划设计环节。在规划设计阶段就应当充分重视设备的维修性，在各种可供选择的方案中进行维修性的比较、评估。制订设备维修计划时也应考虑到维修性的影响。

(2) 设备的使用环节。投入使用后，应对设备维修性方面的性能进行评估，收集用户的意见和要求，以便提出和制订维修性设计的改进方案。在对设备进行改造或现代化改装时也应注意研究维修性设计方面的问题。

(3) 设备的维修管理。改进设备的维修管理，其中包括维修策略的优化选择，提高维修人员的专业素质，改进维修工作的组织形式等。

7.4.2　设备的可靠性维修

随着科学技术的不断进步，设备革新和更新不断加速，与之对应的维修费用也在不断提高。在某些企业出现了维修费用大于利润的情况。因此，有效的维修管理对企业的兴衰成败将起到至关重要的作用，可靠性维修(RBM)就是在这种形势下发展起来的。这一体制旨在通过系统地消除故障根源，尽最大努力削减维修工作总量，最大限度地延长设备寿命，将主动维修、预测维修和预防维修结合起来，形成一个统一的维修策略，从而获得最高的可靠性。

1．预防维修、预测维修和主动维修

可靠性维修是由预防维修、预测维修和主动维修有机结合而成的，以设备可靠性为基础，以主动维修为导向的维修体制。

预防维修又称为以时间间隔为基础的维修，它是目前常用的可靠性维修方法。成功的预防维修费用比被动维修费用低 30％。预防维修的采用虽然可减少非计划停机，但可能造成维修过剩，因此应适当加以控制，控制的方法为：将定期预防维修与预测技术结合起来，根据预测适当延长修理时间间隔，在预定的时间再进行检查预测，以大大避免维修过剩的浪费。

预测维修通过测量设备状态识别将要出现的问题，预计故障修理时机，以减少设备损坏。它的优点如下。

（1）可预先知道设备状态，对维修备件和工具做好充分准备，节约维修停机时间。

（2）有利于产品质量的控制，减少废品损失。

（3）有利于减少由于振动等原因造成的能量消耗，避免灾难性故障，提高设备运行的安全性。

预测维修是值得提倡的维修方式，但这种维修方式不可能从根本上消除故障。

主动维修的目的是应用先进的方法和修复技术来延长机器寿命。它致力于从根本上消除故障隐患，特别是重复性故障，延长维修周期，从而不断改善系统功能。它的主要优点如下。

（1）通过反复维修找出重复故障，通过技术改进设计加以消除。

（2）通过性能检验确保维修后的设备无故障隐患。

（3）按精度标准维修和安装。

（4）辨认和消除各种影响设备寿命的因素。

“永久修复”的主动维修技术包括以下几种。

（1）故障根源分析。对于故障根源分析不应局限于解决表面故障问题，设备早期故障根源如图 7.6 所示。

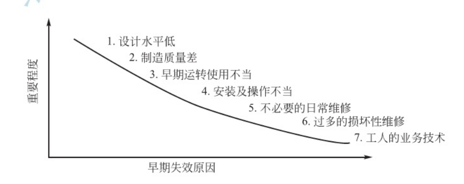


图 7.6　设备早期故障原因

（2）精细的大修理和安装，进行标准化处理。

（3）购置或维修设备均有标准技术规范。

（4）对于大修理质量应严格把关，建立大修理的验收合格证制度。

（5）可靠性维修，对设备进行重新设计、修改设计改进部件技术要求等。

3 种维修模式比较如下。

主动维修：立足根除故障，根本改变系统。

预测维修：监测设备，预知状态，既可避免维修过剩又可避免维修不足，没考虑根除故障。

预防维修：减少非计划停机，易产生维修过剩或不足，没考虑根除故障。

2. 可靠性维修的实施

可靠性维修需要在预防维修、预测维修和主动维修之间取得平衡，达到取长补短，最终达到满意的经济效果。3 种维修策略的平衡关系如图 7.7 所示。

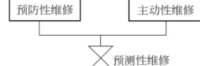


图 7.7　3 种维修的平衡关系

对于可靠性维修的策略，设备在故障特征曲线的不同处理方式在具体实施过程分为 3 个阶段，如图 7.8 所示，具体如下。

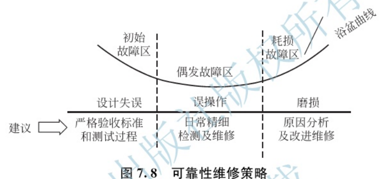


图 7.8　可靠性维修策略

1）开始阶段

开始阶段即试验阶段，首先在单位建立两个专门中心职能小组，即“维修计划小组”和“可靠性提高小组”。

维修计划小组的工作职能从单纯编制维修计划转变为全系统的维修计划，主要职能如下。

（1）协调日常操作工细小的预防维修工作。

（2）根据测量的设备状况协调定期维修的周期。

（3）协调维修生产关系，达到最小影响生产的目的。

（4）计划安排检修及其包含的细节工作。

（5）维修派工单跟踪和费用跟踪。

（6）历史文档记录。

（7）评估设备寿命周期趋势，以此改进维修计划。

可靠性提高小组这一工作是逐渐向主动维修过渡的过程。这小组的主要职责如下。

（1）总结各种预测维修技术。

（2）向维修计划小组及时提供设备工作情况评估表。

（3）推广实施主动维修技术。

（4）记录停机时间。

2）发展阶段

这一阶段主要是扩大预测维修，发展主动维修。发展阶段过程中，设备状态信息将与

定期检修技术和主动维修技术相结合，包括故障原因分析技术等。全体员工的维修观念应向实施预测维修、查找并消灭故障根源和停机方向转变，从单一事件分析向根本性问题分析过渡。

3）成熟阶段

这一阶段的主要特点是全体员工应重视可靠性维修，企业全面实施可靠性维修管理，达到消除故障停机和生产的不合格问题。

4）成果评定

实施可靠性维修所取得的效果和效益，包括有形和无形的。无形的效果是产品用户的满意度及社会影响力、职工自我实现的心理满足等。有形的效益指标可用下列指标评价。

（1）维修部门月总费用。

（2）月生产销售总额。

（3）单位产品的维修费用。

（4）月废品或耗损总量及其占总产量的百分比。

（5）月超产产品数量。

（6）加班时间占总工作时间的百分比。

（7）紧急抢修的次数及费用。

（8）维修停机工时与总工时的比值。

（9）设备实际停机实践与可利用总工时的比值。

（10）月发生的预测维修次数与机器设备加以改善的次数。

（11）每种预测维修技术的积累经济效益。

（12）企业设备适合做预测维修的百分比。

（13）月电能的利用率。

可靠性维修的功能描述如图 7.9 所示。

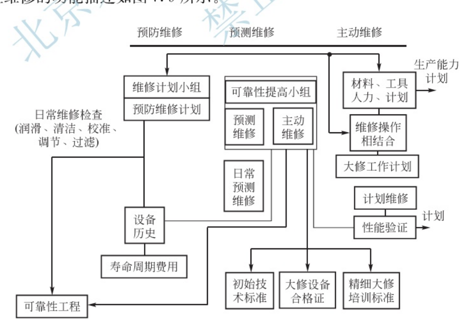


图 7.9　可靠性维修功能总体框架

3．TPM——全面生产维护

TPM是以设备综合效率为目标，以设备时间、空间全系统为载体，全体人员参与为基础的设备保养、维修体制。TPM活动就是通过全员参与，并以团队工作的方式创建并维持优良的设备管理系统，提高设备的开机率(利用率)，增进安全性及高质量，从而全面提高生产系统的运作效率。

全面生产性维护由两部分组成：全面预防性维护与全面预测性维护。预防性维护是基于时间和使用计划的设备维护方法，维护行动在计划的时间或使用间隔内实施，以防止机器故障的发生。预测性维护是基于状态的设备维护方法。维护行动在有明显的信号时或采用诊断技术时实施，以防故障发生。

TPM的五大支柱：最高设备综合效率；全系统预防维修；所有部门全体参加；从领导到每个员工；小组活动动机管理。

TPM五大支柱里的3个“全”：全效率，全效率是目标；全系统，全系统是载体；全员，全员是基础。

7.4.3　维修性的相关参数

维修性的相关参数主要有3个：维修度、修复率和平均修复时间。任何一个参数都只能反应维修性的某一个方面，下面就对这3个参数进行一一介绍。

1．维修度$M(t)$

维修度即用概率表征的设备进行维修时的难易程度，指在规定时间内，可维修系统、设备或零部件在规定条件下进行维修时完成任务的概率。

所谓规定条件是指：维修策略的选择，维修用零部件的准备情况，维修标准或相关技术资料的准备情况，维修用设备的准备情况，维修人员的专业素质及劳动情绪，外协作加工条件等。

维修度$M(t)$对于时间的导数称之为维修密度函数，记为$m(t)$，用数学式表示为

$$m(t)=\mathrm{d}M(t)/\mathrm{d}t \tag{7-21}$$

维修密度函数表示在某一时刻t设备系统或零部件可能修复的瞬时概率。

反之，同维修度相反的概念是不可维修度，也就是设备修不好的概率，用$G(t)$表示

$$G(t)=1-M(t) \tag{7-22}$$

2．平均维修时间$MTTR$(Mean Time To Repair)

平均维修时间是指通过多次故障修理而得到的维修时间的平均值。平均维修时间是衡量设备维修性的一项重要指标。相同条件下，平均维修时间越短则维修性就越好。

当维修度$M(t)$按指数分布时，如果平均维修时间$t=1/u$，则维修度$M(1/u)=0.632$。

设备的修理时间通常包括下列各项时间消耗。

(1) 故障(失效)诊断时间：包括测试发生故障的分系统、部位，诊断、查找、确定故障发生的真正原因所需要的时间。

(2) 修理准备时间：包括备件、材料准备，修理场所准备，工具、试验装置准备，技术资料准备，修理人员的配备所需要的时间。

(3) 修理实施时间：包括解体、修理、拆卸、更换零件、装配、换油、调整、验收等

所需要的时间。

为了缩短总的修理时间，显然应该设法对以上的各项时间消耗进行压缩，并可以将以上各个工序交叉进行。

3. 修复率 $\mu(t)$

修复率是指待修设备的维修时间已达到某个时刻三维修复，在随后的单位时间内完成修理工作的概率，即

$$u(t)==\frac{m(t)}{1-M(t)}=\frac{\mathrm{d}M(t)}{\mathrm{d}t}\times\frac{1}{1-M(t)} \tag{7-23}$$

上式的 $M(t)$、$m(t)$、$\mu(t)$ 均称为维修性函数。与可靠性函数类似，维修性函数一般服从正态分布、对数正态分布或者威布尔分布。当设备的使用时间远远长于维修时间时，可以认为它们符合指数分布，即 $\mu(t)=\mu$(常数)。

$$M(t)=1-\mathrm{e}^{-ut} \tag{7-24}$$

$$m(t)=u\mathrm{e}^{-ut} \tag{7-25}$$

其中 u 称为平均修复率。

【例 7-8】 根据数据统计，某设备在一个月内发生 10 次故障，共停机检修 800min，设故障服从指数分布。如果要求设备故障停机时间按不得超过 100min 计，以此作为维修工时定额时，求设备的维修度。

解： 设备的平均修理时间为

$$MTTR=800/10=80(\mathrm{min})$$

修复率为

$$\mu=1/MTTR=10/800=0.00125$$

代入式(7-24)得

$$M(t)=1-\mathrm{e}^{-ut}=1-\mathrm{e}^{-0.0125\times 100}=0.714$$

即在 100min 内该设备的维修度为 0.714。

7.4.4　设备的有效度

除了维修性和可靠性之外，某些“后勤边界条件”也对维修有着不容忽视的影响。这些“后勤边界条件”不属于设备本身固有的特性，如进行维修所用到的设备、工具、备件及维修人员的专业素质等。设备的可靠性、维修性，以及后勤边界条件共同定义出设备的“有效度”。

所以设备的有效度可以表示为：系统、设备或者部件在规定时间内履行其功能的概率。在这种情况下，即使设备发生故障，能在规定时间内修复，仍能够正常工作，所以有效度与单纯的可靠度相比增加了正常工作的概率。有效度是由可靠度加维修度所得出的一种可靠度增量。对于不可修复的系统、设备或零部件，有效度就是可靠度；而对于可修复系统、设备或者零部件，其有效度则是可靠度和维修度的统一形式。

有效度可以定义为

$$A=\frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \tag{7-26}$$

式中，$MTBF$——平均无故障工作时间(未计算非工作状态时间)；

$MTTR$——平均修复时间。

MTBF 是衡量可靠性的尺度，而 *MTTR* 是衡量维修性的尺度。可靠性和维修性将同时影响着设备的有效度，必须综合平衡这三者的关系，使可靠性、维修性、有效度数值都被接受。一般来说，为提高设备的有效度，应该尽可能同时改善设备的可靠性和维修性。越是关键的设备，对其可靠性要求就越高。另一方面，适当注意维修性的改善，设备的有效度就会得到提高。

思　考　题

1. 何谓设备的可靠性?
2. 叙述设备故障的分布规律及其分布函数。
3. 叙述设备可靠性设计的内容、原则和基本程序。
4. 现代设备为什么要采用冗余性设计?
5. 设备可靠度分配的原则有哪些?
6. 叙述现代设备维修性的定义。
7. 简述现代设备维修性的相关参数。
8. 何谓设备有效度?

第 8 章 设备的维修改造和更新



知识要点	掌握程度	相关知识	应用方向
机械设备的磨损规律及对策	熟练掌握	机械设备磨损的原因及规律，设备磨损的形式及度量方法，设备的磨损补偿方式与修理层次	掌握机械设备的磨损原因及规律，掌握磨损的度量方法和修理层次，从而为减少设备的磨损提出对策
机械零件修复的新技术	了解	返修件的选择，返修时的测绘和技术条件的确定，装配精度和补偿环的选择，几种广泛采用的修理新技术	了解几种被广泛采用的机械零件修复新技术
设备折旧的方法与政策	熟练掌握	设备折旧的意义，折旧问题的三要素，折旧的计算方法，折旧政策和设备折旧基金管理	掌握设备折旧的计算方法，了解设备政策和设备折旧基金的管理
设备的改造与更新	了解	设备改造的原则及目标方向，设备更新的原则及方向，设备更新方案优选	了解设备改造与更新的内容，提高设备的技术水平，以满足生产的要求



我们知道，设备维修是设备有形损耗的一次全面性补偿。一般来说，修理作业的劳动生产率要比从事批量生产整机的厂家的生产率低得多，并且零部件的销售价格往往高出整机销售价格的几倍乃至十几倍，甚至个别型号较老的机械零配件经销商奇货可居，使价格远远脱离了该零件生产的实际价格。在以上因素的作用下，为什么大修工作还能存在?

对设备的大修从经济学上分析应该有一个极值。怎样界定设备大修的界限？当一个企业面临大修任务时，不外乎以下 4 种选择：①大修留用；②同型设备更新；③技术先进的新型设备替换；④结合大修进行技术改造，使原机获得新的性能。

机器设备是企业生产的物质基础和技术基础。企业产品的质量、数量和生产成本等主要指标都与设备的技术装备水平有紧密的关系。有计划有步骤地用先进的技术改造落后的技术，用先进的设备取代陈旧落后的设备以改变企业的生产面貌，实现以内涵为主的扩大再生产，从而达到提高产品质量、促进产品更新换代、节能降耗、全面提升区域的经济效益的目的，这就是设备更新和技术改造的宗旨。

工欲善其事，必先利其器。设备修理历来是设备管理工作中最主要的技术任务。随着现代设备技术的进步和发展，设备维修和管理日益重要。因为设备停机和修理期的长短，以及设备大、中、小修方式的安排等直接影响设备的可利用率，而这是同企业的经济效益密切相关的。所以，保证设备的可靠性，提高设备利用率，并适时进行设备修理就成为在设备安装后使用期间进行管理的首要大事。科学的维修是保持或恢复设备正常运行、充分发挥效能、保证产品质量和效益的基本条件，维修也是生产力。

修理期是设备寿命周期的组成部分。对于无维修设计的设备系统，修理期为零，修理费也为零。而绝大多数机械设备都是可维修的，因此它们的修理期和修理费不可能是零。

当设备的残值还足以保留其基本功能时，经过修旧与更新的投资和经济效益的评比往往采取修理的决策。设备修理的目的就是重新完善设备系统，恢复或提高设备功能。对于设备的损耗在物质形态上给予补偿的同时也就补偿了它的经济价值。所以，从投资的观点来说，每一次的设备修理便是一次价值上的追加，直到将废旧设备舍弃为止。

由于技术上和经济上的原因，对磨损和损耗了的病态设备进行物质形态上的补偿和价值形态上的追加便有一个最优决策的问题。于是，设备修理的核心问题是根据设备磨损或损耗情况，结合企业的经营目标，对具体的设备选择正确的维修方式和维修层次，合理安排修理计划并付诸实施。这里包含着具体的时间范围、经营目标、损耗情况、修理层次、维修技术和修理组织等问题。

零件是机械设计和制造的最小单元，是设备物质结构系统的最小组成元素。因此，零件修复就是修理的基础。零件修理或返修是一种特殊的加工制造和装配技术，这种技术随着科技进步发展很快，设备管理人员若不熟悉零件修复技术，对设备修理也就不能作出科学的决策。

设备改造与更新工作既有深厚的技术内涵，又是一项重要的投资活动。在物质、技术条件允许的条件下，在确定实行改造或更新时更要注意其经济界限。

8.1　机械设备的磨损规律及对策

设备在使用或闲置过程中会发生两种形式的磨损：一种是有形磨损，亦称物质磨损或物质损耗；一种是无形磨损，亦称精神磨损或经济磨损，这两种磨损都会造成经济损失。为了减少设备磨损和在设备磨损后及时进行补偿，首先必须弄清产生磨损的原因和磨损规律，以便采取相应的技术、组织与经济措施。

8.1.1　机械设备磨损的原因及规律

1. 机械设备磨损原因

1）有形磨损

设备无论在使用或是在闲置过程中都会产生有形磨损。

(1) 设备在运转使用过程中，相互运动的零、部件的表面在力的作用下因摩擦而产生各种复杂的变化，使表面磨损、剥落和形态改变，以及由于物理、化学的原因引起零、部件疲劳、腐蚀和老化等。

(2) 设备在闲置过程中，由于自然力的作用而锈蚀，或由于保管不善，缺乏必要的维护保养措施而使设备遭受有形磨损，随着时间的延长，腐蚀面和深度不断扩大、加深，造成精度和工作能力自然丧失，甚至因锈蚀严重而报废。

2）无形磨损

设备在有效使用期内(即其自然寿命)生产同样结构的设备，由于劳动生产率提高，其重置价值不断降低，而引起原有设备的贬值，或者由于科学技术进步而出现性能更完善、生产效率更高的设备，以致原有设备价值降低。

2. 机械设备磨损规律

机械设备在正常运转中的磨损过程一般分为 3 个阶段。图 8.1 所示为磨损过程的曲线，称为磨损曲线。

图 8.1　磨损曲线

跑合阶段：图中 o—a 段，又称磨合阶段。新的摩擦副表面比较粗糙，真实接触面积极小，它们在磨合阶段被逐渐磨平，真实接触面积增大，磨损速度较缓。利用跑合阶段的轻微磨损可为正常运行的稳定磨损创造条件。

稳定磨损阶段：图中 a—b 段，磨损缓慢稳定，其斜率就是磨损速度，横坐标(时间)段就是耐磨寿命。

剧烈磨损阶段：图中 b 点以后，磨损速度急剧增大，机械效率下降，功率和润滑油的损耗增加，精度丧失，产生异常噪音及振动，摩擦副温度迅速升高，最终零件失效。

有时也会发生下述情况。

(1) 转入稳定磨损阶段后，长时间内磨损甚微，并无明显的剧烈磨损阶段，零件寿命较长。

（2）跑合阶段和稳定磨损阶段无明显磨损，当表层达到疲劳极限后产生剧烈磨损。

（3）工作条件恶劣，跑合阶段后立即转入剧烈磨损阶段，机器无法正常运转。

8.1.2　设备磨损的形式及度量方法

机械设备的磨损或损耗是进行修理的前提。在使用或闲置过程中，设备的物质形态和价值形态都要发生损耗。可以将两者的损耗称为机械设备的广义磨损，其含义是设备物质实体功能方面的劣化和价值形态的贬值。

设备的磨损可分为无形磨损和有形磨损两个方面。

1. 设备的无形磨损及其度量

设备在使用或闲置过程中，除遭受到有形磨损外还遭受到无形磨损，后者又称之为经济磨损或经济劣化。所谓的无形磨损，就是指由于科学技术的进步，生产工艺的改进而不断出现性能更趋于完善，生产效率更高的设备，而使原有设备的价值发生贬值。此外，由于生产规模的扩大或生产相同结构设备的成本不断降低，即该种设备重置价值不断降低，产生贬值，也是设备产生无形磨损的原因。

设备的无形磨损可以分为两种形式，即第一类无形磨损、第二类无形磨损。

1）第一类无形磨损

由于技术进步和劳动生产率的提高，生产同样机械设备的消耗成本不断降低，迫使原设备贬值，这种贬值称为第一类无形磨损。由于相同结构设备重置价值降低而使原有设备产生贬值，也称之为经济性无形磨损。此类无形磨损虽使设备贬值，但其性能和使用价值并未受到影响，也不产生提前更换该种设备的问题。到了如果贬值的速度比修理费用降低的速度快，用修理费用高于贬值后的设备价格，则应该考虑进行更换。

2）第二类无形磨损

由于出现了比原设备在结构上、原理上、功能上、造价上等都优越的新设备，原设备显得技术陈旧，功能落后，由此造成贬值，这种贬值称为第二类无形磨损。这类磨损又称之为技术性无形磨损。此类无形磨损不仅使设备产生贬值，而且继续使用会降低设备使用的经济效益。此时应该根据企业自身能力与条件进行设备的现代化改装或更新。

无形磨损的程度用设备的价值降低系数 α_1 来估量

$$\alpha_1=(K_0-K_1)/K_0 \tag{8-1}$$

式中，K_0——机械设备的原始价值(购置价)；

K_1——考虑到无形磨损时，设备再生产(再购)的价值。

2. 设备的有形磨损及其度量

设备的有形磨损也可以分为两种形式：即第一种有形磨损、第二种有形磨损。

1）第一种有形磨损

所谓的第一种有形磨损，是指机械设备在使用过程中，由于摩擦、冲击、振动、疲劳、腐蚀、断裂、变形等造成实物形态的变化，使功能逐渐(或突然)降低以至丧失。

2）第二种有形磨损

所谓的第二种有形磨损，是指设备在闲置过程中，由于锈蚀、老化、变质等原因造成实物形态的变化，使功能降低以至丧失。

因为最直接影响机械运动质量的因素是零件的尺寸精度，所以在机械设备中通常用尺

寸的变化来反映零件的磨损量。设 n 个零件发生了磨损，第 i 个零件的磨损度 α_i 为

$$\alpha_i=\delta_{pri}/\delta_{mi}\times 100\% \tag{8-2}$$

式中，δ_{pri}——i 零件的实际磨损量/mm；

δ_{mi}——i 零件的最大允许磨损量/mm。

因为并非所有的零件在机械中都扮演同等重要的角色，所以用加权的办法区分磨损零件在影响设备功能程度方面的主次轻重。设 n 个被测零件对机械功能的影响之和为 100%，其中第 i 个零件的影响程度(重要性)为 W_i，并有

$$\sum W_i=1 \tag{8-3}$$

则整台机械设备的磨损度为

$$\alpha_p=\sum \alpha_i W_i \tag{8-4}$$

必须知道，机械设备的功能是个综合指标，只有那些直接影响机械基本功能的零部件才应该被视为进行估量的对象，而不能将一切磨损件不分主次地均纳入式(8－3)的计算中。

在企业作设备修理决策时，最方便的还是用修理费作指标，从价值上来度量有形磨损程度。这时

$$\alpha_p=R/K_1 \tag{8-5}$$

式中，R——恢复全部磨损零件(包括装拆)所需的修理费；

K——在确定机械设备磨损度时，该种设备再生产(或再购)的价值。

当 $\alpha_p<1$ 时，设备还有修理价值；当 $\alpha_p\geqslant 1$ 时，则此设备已无修理必要，可用买新换旧的方法来解决。

3. 设备综合磨损的度量

机械设备在购置安装后，无论是否使用，同时存在着有形磨损和无形磨损，两者都使它的价值降低。机械设备在某个时刻的综合磨损度为

$$\alpha=1-(1-\alpha_p)(1-\alpha_1) \tag{8-6}$$

设 K 为设备的残值，这是决定设备是否值得修理的重要依据。

$$K=(1-\alpha)K_0 \tag{8-7}$$

将式(8－1)、式(8－5)、式(8－6)代入上式，则得

$$K=K_1-R \tag{8-8}$$

即设备残值等于在生产的价值减去修理费用。

当 $K>0$ 时，设备还有价值；当 $K=0$ 时，设备已无价值；当 $K<0$ 时，设备不再具有修理的意义。

8.1.3　设备的磨损补偿方式与修理层次

设备磨损的补偿方式就是为了恢复或提高设备系统组成单元的功能而采取的追加投资的技术组织措施。由于损耗程度是不均匀的，必须将各组成单元区别对待。一些有形磨损可以通过某些修复技术去修复它，但有些损耗则不能修复，例如零件断裂、材料老化等只能通过零件更新的办法去恢复设备系统的原有功能。而无形磨损的消除只有在采取措施改善其技术性能，提高其生产工艺的先进性等后才能达到。

返修、更换和现代化改装是设备磨损补偿的 3 种方式，这 3 种方式的选用并非绝对化。当某些可以消除的有形磨损的修复费用很大时，就应考虑是否改用更换的方式。若有形磨损与无形磨损程度接近，就应考虑是否进行设备更新，以高效率的设备来取代老设备。当有形磨损严重，而无形磨损尚少时，进行修理是适当的。总之，补偿方式是一种对策，归根结底取决于进行补偿时的经济评价。

在技术上和生产组织上，设备维修始终是设备管理中工作量最大，内容最繁杂的一部分，以至于人们为了越过这一阶段，在现代科学技术的基础上实行大规模的标准化生产，尽可能地降低设备及其零部件的成本，使更换和更新的费用低于维修费，这就是无维修设计。

可是，无维修设计至今只能用于低值易耗的设备或零部件，面对技术密集、资金密集的设备仍不免要维修。生产技术越向大型、复杂、精密的高级形式发展，设备的价值含量也越大。所以，维修费占生产总成本的比重不是减小，而是增大。

对设备磨损进行补偿时应考虑以下两个问题。

1. 维修时零部件的区分

相对应于各种补偿方式，在对一台设备或一个设备系统进行修理时，可将它的零部件区分为以下几种。

（1）留用件。未发生磨损或虽发生一些磨损但仍能实现其功能的零部件。

（2）返修件。用返修方式进行补偿，全部或局部恢复其功能的零部件。

（3）更新件。用更换的方式进行补偿，全部恢复其功能的零部件。

（4）改制件。用技术改造方式进行补偿，提高其功能的改制零部件。

2. 修理层次

在维修过程中对磨损设备进行的补偿可按修理内容及范围的深广度区分为小修、中修、大修、项目修理、设备改造和计划外修理等几种不同层次。

1）小修

小修是以更换和修复在修理间隔期内磨损严重或即将失效的零部件或器件为目的，不涉及对设备基础件的修理问题。小修通常只需修复、更换部分磨损较快和使用期限等于或小于修理间隔期的零件，调整设备的局部结构，以保证设备能正常运转到计划修理时间。

（1）小修的内容：停车进行：①检查紧固零件，如连杆螺栓等；②检查与更换易磨损零件，如阀片等；③更换填料、垫片、弹性联轴器木棒和胶圈；④润滑系统、冷却系统检查、清洗、换油。

（2）小修的特点：修理次数多，工作量小，每次修理时间短，修理费用计入生产费用。小修一般在生产现场由车间专职维修工人执行。

2）中修

中修是一种介于大修和小修间的层次。中修是对设备进行部分解体、修理或更换部分主要零件与基准件，或修理使用期限等于或小于修理间隔期的零件；同时要检查整个机械系统，紧固所有机件，消除扩大的间隙，校正设备的基准，以保证机器设备能恢复和达到应有的标准和技术要求。

（1）中修的内容：①小修的全部内容；②修理个别部件或更换零件；③修理或更换轴

瓦；④检修修理钢套，更换活塞环；⑤更换泵的叶轮、轴、轴承；⑥修理衬里或防腐层；⑦定期检验设备；⑧安全附件的测试检查。

(2) 中修的特点：修理次数较多，工作量不是很大，每次修理时间较短，修理费用计入生产费用。中修的大部分项目由车间的专职维修工在生产车间现场进行，个别要求高的项目可由机修车间承担，修理后要组织检查验收并办理送修和承修单位交接手续。

3）大修

大修是一种复杂、工作量大的修理，目的是全面恢复或基本恢复设备的功能。大修时将对设备进行全部或大部的解体，重点在于修复基础件，更换和修理因磨损而丧失或即将丧失功能的零部件，调整后的精度基本上达到原出厂时的水平，并对外观重新进行整修，以求恢复机器设备的原有性能。

为了提高装置的技术水平和综合功能，在大修时有时也对设备进行技术改造。

设备检修后必须进行试运转，并按修理类别分别由使用单位或操作工验收。重点设备厂机动部门须派人员参加验收。

(1) 大修的内容：①中、小修全部内容；②更换全部已磨损零部件，符合规定标准；③检查调整设备底座与基础，符合标准规定；④更换衬里、防腐层、保温层、炉衬；⑤进行技术改革。

(2) 大修的特点：修理次数少，工作量大，每次修理时间较长，修理费用由大修基金支付。设备大修后，质量管理部门和设备管理部门应组织使用和承修单位有关人员共同检查验收，合格后送修单位与承修单位办理交接手续。

4）项目修理

项目修理是设备运行情况和状态监测的基础上，专门针对即将发生故障的零部件或技术项目进行事前计划性的修理。项目修理是穿插在大、中、小修之间，没有周期性的一种计划维修层次。

5）设备改造

设备改造是新技术、新材料、新结构和新工艺在原设备的基础上进行局部改造，以提高原设备的功能和精度，提高生产率和可靠性为目的。这种修理属于改善性的维修，工作量的大小取决于原设备的结构对实行改造的适应性程度，以及人们希望对原设备功能提高到何种水平。

6）计划外修理

计划外修理是由于突发性故障和事故而必须对设备进行的一种修理层次。设备的管理水平越高，计划外修理的次数和工作量应越少。

以上几种计划检修的内容都是以“预防为主”的原则确定的。设备的日常维护保养工作是计划检修的基础工作。日常维护保养工作做得好就能大大减少检修工作量和检修次数。

计划检修的各个组成部分是相互联系的，前一次检修为下次检修提供资料，以保证机器设备正常运行到下次的计划检修日期。

计划检修制并不排除对偶然性的、临时性的故障的抢修，以及意外的破坏性事故的恢复性检修。如果设备的日常维护保养和计划检修制度贯彻得好，这些计划外的检修是可以减少和避免的。

8.2　机械零件修复的新技术

设备物质实体的有形磨损用修理的办法进行补偿。在设备大修时，对磨损零件的修复占修理工作量的一半以上。有时中修也要对设备作局部解体，并返修个别零件。零件修复是设备修理的基础。

虽然更换零部件可以节省修理时间和提高修理质量，但当更换费用大于返修费用时，人们宁可选择返修来追求经济利益。

零件修复或返修是一种特殊的加工制造和装配技术。零件修复一般是单件或小批量生产，较多地依赖水平较高的专业修理人员的素质。零件修复主要是技术问题，但同时也有管理问题。因为返修件的选择和返修方案包括修复程度、修复方法、修理计划及组织等，都不是纯技术问题。对这些问题必须进行技术经济分析才能达到科学决策。

随着材料科学的发展，应用先进材料和先进的表面涂层或处理方法对有形磨损的零件进行修复或者进行表面改性来延长其使用寿命。

机械零件修复技术遵守的原则是“技术合理，经济性好，生产可分”。

选择零件修复的技术方法与步骤如下。

（1）掌握待修零件的损伤形式、部位和程度，了解零件的材质，物理、力学性能和技术条件，了解零件在设备中的功能和工作条件

（2）考虑和对照本单位的修复技术，装备状况，技术水平和经验，并估算旧件修复数量。

（3）对待修机械零件的各个损伤部位选择相应的修复技术。

（4）全面权衡整个机械零件各损伤部位的修复技术方案。

（5）最后择优确定一个修复方案。

8.2.1　返修件的选择

更换和返修是对磨损零部件进行补偿的两种形式。一般情况下，对不可消除的有形磨损实行更换，对可消除的有形磨损实行返修，但二者的区别并非是绝对的。到底采用哪种补偿方式先要估算一下更换成本和返修成本的大小，再结合本企业进行维修的设施条件，以作出选择。

在设备修理中，作为更换对象的零部件通常为以下几种。

（1）标准件。例如：传动带、链条、弹簧和紧固零件等。

（2）标准化部件或装置。例如：滚动轴承、联轴器、离合器、制动器、阀门等。

（3）小型专用易损件。例如：轴瓦、活塞环、灯泡、开关、隔套等。

作为设备更换对象的更换件常作为备件库存，其技术状况一般与新设备所装用的相同。

返修主要是针对设备基本构件而言的，基本构件就是在机构运动简图上反映出来的包括机架在内的全部构件。有些构件在机械设备中占有特殊的重要地位，如机床的主轴和床身等，它们既是体现基本功能的主体构件，又是装配时的基础，即很多零部件的位置精度要以它们为基准去确定，它们的磨损对设备功能的影响很大，这些构件又称为基础构件。

基础构件是返修的重点和起点。基础构件在重量、加工量、返修时的工作量、结构复杂性等方面都占有较大比重。它们也包含了机械设备较大部分的原始造价和残余价值。因此，对基础构件进行修旧利废比实行更换合理。

8.2.2　返修件的测绘和技术条件的确定

返修工作中经常要碰到从失效零件绘制返修生产图样的问题，并确定其技术条件，这是设备技术管理的重要内容。因为设备生产厂家通常提供给用户的是设备装配图样，或是设备安装图样，不提供零件工作图，因此用户要根据失效或磨损件进行测绘，测绘出来的图样不可能完全符合原来的设计，它有可能低于或高于原图的设计要求。

1. 测绘返修件图样参考方法

(1) 认清度量基准是正确测绘的前提。测绘时要先找出零件磨损表面几何元素的基准。

(2) 选择失效件上未损坏的部分为测量的依据。

(3) 利用零件的对称结构进行判断磨损部分的原始形状和尺寸大小。

(4) 利用配合件的相互关系推断出失效件的尺寸、精度、表面状况及材质等技术条件。

(5) 充分运用设计手册，熟悉标准化的各种资料，可容易地从失效件的形态查知原来的尺寸和技术条件。

(6) 利用机械原理的知识进行测算。

最典型的情况是齿轮失效件的测绘，采用测量公法线长度的方法来确定齿轮的标准模数，以及判断和分析失效齿轮属标准齿轮还是变位齿轮。变位系数的大小可通过下式算出

$$X=\frac{W'-W}{2m\sin\alpha} \tag{8-9}$$

式中，X——变位系数；

W'——实测的公法线长度；

W——按机械原理公式计算的标准齿轮的公法线长度；

m——模数；

α——压力角。

2. 确定返修件的技术条件

用户确定的返修件技术条件可能与原设计图不符，这并非什么错误。但用户对原设计的任何修改都必须持谨慎态度，特别是对于高温、高压、高电压、耐腐蚀和防毒密封等设备，修理过程中的任何设备都要有十分可靠的依据才能进行。同时，从法律方面说，修改原设计后发生的功能降低或由此引发的生产安全事故应由用户自己承担责任，不能再追究生产厂家的法律责任。

确定返修件的材质时，先要从失效零件上辨认它使用的材料，再按机械设计的方法规定它的机械、物理性质。在其他技术条件中，最主要是根据修复程度的决策确定零件的尺寸精度和表面粗糙度。设备管理人员从故障分析报告和操作人员长期使用设备的感受中可以判断对哪些关键部位的尺寸精度和表面粗糙度需要进行改善。因为返修件的精度直接影响设备修理费用，所以对那些行将更新的设备，其返修件的技术条件可适当降低。

8.2.3 装配精度和补偿环的选择

零件磨损产生的直接后果是装配精度降低。一台机械设备的质量如何决定于它的各个构件的装配精度，尤其是基础构件的装配精度影响很大。例如，设备的运行精度就决定于运动副的装配间隙。因此，在确定返修件的尺寸精度时要考虑到运动副的装配精度。另外，有些装配精度是受多个零件尺寸误差的影响的，应注意这些零件尺寸之间组成互为消长关系的尺寸链。

机械修理中总是选择那些容易加工和加工量小且易于安装调试的零件或构件来担当尺寸链中补偿环的角色。通常，控制轴上零件在装配后的轴向间隙多采用隔套、衬圈等为补偿环；而以平面为安装基准的多选取垫板及底面加工量不大的支座或箱体等为补偿环。选择补偿环是一种减少返修工作量、缩短修理工期的重要技术措施。

8.2.4 几种广泛采用的修理新技术

1. 热喷涂技术

将粉末或线状的材料加热到熔化状态，再用高速气流将此熔化状态的材料吹成雾状，射到零件表面上，形成一层覆盖层，这种技术称为热喷涂。

热喷涂可以随着喷涂材料的不同而获得不同硬度和耐磨、耐热、耐腐蚀、润滑、导电或绝缘等特殊性能的涂层。这种技术常用于轴类零件、内孔、导轨和机件平面的修复和强化。

经喷涂后的零件一般都需要经过再加工才能使用。对于喷钢件，加工过程包括渗油处理、除去虚浮涂层、机加工等几个步骤。

以等离子弧作为喷涂热源的等离子喷涂可使零件的寿命提高 1～8 倍。但是这种新工艺成本较高，而且由于高温易使零件变形，不适宜修复薄壁零件。目前，用这种技术修复动力机械中的阀门、阀座、气门等的磨损部位取得了良好成效。

热喷涂技术是表面工程技术的重要组成部分，它利用电弧、等离子弧或燃烧火焰等将粉末状或丝状的金属或非金属材料加热熔化或软化形成熔滴，并以一定速度射向预处理过的基体表面、形成具有一定结合强度涂层的工艺方法。

热喷涂技术的优点：热喷涂技术可用来喷涂几乎所有的固体工程材料，如硬质合金、陶瓷、金属、石墨和尼龙等，形成耐磨、耐蚀、隔热、抗氧化、绝缘、导电、防辐射等具有各种特殊功能的涂层。热喷涂技术还具有工艺灵活、施工方便、适应性强及经济效益好等优点，被广泛应用于宇航、机械、化工、冶金、地质、交通、建筑等工业部门，并获得了迅猛的发展。

热喷涂技术特点如下。

（1）基体材料不受限制，可以是金属和非金属，可以在各种基体材料上喷涂；。

（2）可喷涂的涂层材料极为广泛，热喷涂技术可用来喷涂几乎所有的固体工程材料，如硬质合金、陶瓷、金属、石墨等。

（3）喷涂过程中基体材料温升小，不产生应力和变形。

（4）操作工艺灵活方便，不受工件形状限制，施工方便。

（5）涂层厚度可以从 0.01 毫米至几毫米。

(6) 涂层性能多种多样，可以形成耐磨、耐蚀、隔热、抗氧化、绝缘、导电、防辐射等具有各种特殊功能的涂层。

(7) 适应性强及经济效益好等优点。

常用的热喷涂方法：火焰喷涂、氧乙火焰粉末喷涂、氧乙火焰线材喷涂、氧乙火焰喷焊、高速火焰喷涂(HOVF)、电弧喷涂、等离子喷涂、大气等离子喷涂、低压等离子喷涂。

2. 刷镀技术

在设备修理中使用电镀技术主要用于修复磨损量不大、精度要求高、形状结构复杂、批量较大和需要某种特殊镀层的零件。电镀通常有槽镀和刷镀两种，槽镀是传统的一种电镀技术。而刷镀是在工件表面局部快速电沉积金属的一种电镀新技术。它创始于 20 世纪 60 年代，我国 20 世纪 80 年代开始研究和应用这一技术。

刷镀技术是从槽镀发展起来的，其基本原理与槽镀相同，都是用电解的方法使金属表面获得覆盖层。

刷镀不仅能增大零件的局部尺寸，还可提高零件的耐磨性(如镀铬、镀铜等)、抗腐蚀性(如镀锌、镀镍等)和表面导电性(如镀银)。刷镀主要用于修复量小的零件，一般镀层厚度在 0.5mm 以下。

电刷镀技术需采用专用的直流电源设备，电源的正极接镀笔作为刷镀时的阳极；电源的负极接工件，作为刷镀时的阴极。镀笔通常采用高纯度细石墨块作阳极材料，石墨块外面包裹一层棉花和耐磨的涤棉套。刷镀时使浸满镀液的镀笔以一定的相对运动速度在工件表面上移动，并保持适当的压力。在镀笔与工件接触的部位，镀液中的金属离子在电场的作用下扩散到工件表面，并在表面获得的电子被还原成金属原子，沉积结晶形成镀层，随着刷镀时间的增长，镀层增厚，从而达到镀覆及修复的目的。电刷镀的设备主要包括电源装置、镀笔与阳极，以及各种辅助材料。

3. 堆焊

堆焊是在零件表面堆熔一层金属的焊接工艺。利用堆焊方法修复零件可以恢复磨损零件的尺寸，还可以赋予零件工作表面一定的特殊性能，是修复零件的重要手段之一。在修复已磨损零件的各种方法中，堆焊方法有如下 4 个优点。

(1) 生产率高，可以快速得到大厚度的堆焊层，对磨损量大的零件特别适用。

(2) 一般情况下无须经过热处理就能获得高硬度和高耐磨性的表面。

(3) 焊层与基体间的结合强度高。

(4) 一般堆焊设备不复杂，技术易于掌握。

但是，用堆焊法修复零件也有一些缺点，主要有堆焊焊缝和热影响区容易产生裂纹，修复后的零件疲劳强度往往有所降低。埋弧堆焊、振动堆焊是目前应用广泛的两种堆焊方法。

4. 喷焊

将金属粉末加热后，喷涂并熔化在零件表面上形成焊层的过程叫喷焊。使用氧—乙炔火焰进行喷焊时叫做火焰喷焊。以等离子弧作为热源的喷焊工艺称为等离子喷焊。喷焊技术可用来修复表面磨损的零件。当使用合金粉喷焊时，可使修复件比新件更加耐磨。

5．粘接或胶接

粘接是利用粘接剂将两个构件或破损零件联接起来的一种工艺。粘接剂简称为胶，它的作用取决于粘合力的大小。当两个被粘合的物体进行胶接时，粘合强度随着粘合剂与被胶接物体间的粘附力及粘合剂本身的内聚力的增大而增强。通常粘胶内部的内聚力总是大于它与物体间的附着力的。因此，胶接质量归根到底是受粘附力的影响的。

胶接的优点是适用范围广，不论金属材料、非金属材料或金属与非金属之间均可进行粘接，不受尺寸形状的限制。胶接时温度低，不会产生热应力和变形。但胶接也有它难以克服的许多不足之处，如不耐高温，胶接强度比基体的强度低得多，粘合剂会老化变质等。

6．管道带压密封技术

在流程式的工业企业中大量使用管道来输送气体、液体或固体等物质。这些管道运行时一般都要承受压力，当发生管壁破损时即有泄漏现象发生。压力越大，带来的损失也越大。如电力、石油、化工、冶金、制药、食品等企业，管道泄漏时有发生。如果在不停止设备系统运行的状态下对泄漏的管道进行修理，在经济上有很大的意义。

管道带压密封技术是在管道泄漏部位装置堵漏夹具后，用高压泵或注射枪将由橡胶制剂制成的密封剂注入需要堵漏的部位夹具空腔中，并迅速固化，达到堵漏的目的。这项密封技术目前应用比较广泛。例如：不停车带压密封技术。

原理：以流体介质在动态情况下建立密封结构，即介质处于有温度，有压力和流动状态下建立起密封结构，从而消除泄漏。

特点：①在堵漏过程中不需要停车、不需要动火、不影响装置的正常运行、安全迅速；②泄漏部位不需作特殊处理，不破坏原有密封结构，可保持原有密封面免遭介质冲刷，为停车检修和使用创造了条件；③带压密封建立的新密封结构密封剂不粘在金属上，可以很容易地从泄漏部位拆下来，为停车检修工作带来了方便。

其他表面强化技术如下。

（1）表面机械强化，如滚压喷丸。

（2）表面热处理和表面化学热处理。

（3）电火花强化。

（4）激光表面处理金属的扣合技术。

8.2.5 维修技术应用案例

下面是维修技术应用的两个案例。



【维修技术应用案例 1】

一台上海产 6135 发动机，由于冬季在室外停放时忘记放水，缸体气缸套处开裂一道长约 4cm 的裂纹，运用手工电弧焊修复工艺如下。

(1) 焊条：选用铸 612 铜铁焊条，焊条直径 3.2mm，焊后不进行机械加工。

(2) 清除污物：将裂纹周围清洗干净，包括油污、铁锈，裂纹深处的油污和水用氧—乙炔火焰加热，直到不冒烟为止。

(3) 修整裂纹：在裂纹两端钻 ϕ3mm 的止裂孔。为了增大结合强度，沿裂纹方向用手砂轮开出 U 形坡口，坡口开度 120°，深 4～6mm。坡口两侧 25mm 以内用钢丝刷打光，露出金属表面。

(4) 施焊：使缸体裂纹成水平位置放置，运条方向由两端向中间进行，待整条裂纹焊补完毕后，再焊两端的止裂孔。焊接速度为 3.2～3.5mm/s，电流为 80～110A。



【维修技术应用案例 2】

一台康明斯发动机，缸体曲轴主轴承第二、三座孔同轴度误差达 0.13mm。由于轴承座孔上有轴瓦覆盖，仅起支承及散热作用，焊接强度要求不高，但精度需达到一定标准，考虑采用钎焊修复轴承座孔，然后在搪瓦机上加工成型。

(1) 钎料：由于曲轴主轴承处是受力部位，黄铜的结合强度在 200MPa 以上，因此选用黄铜。

(2) 清除污物：用油洗去或用火焰吹去座孔表面的污物，用砂布打磨，露出金属表面，焊补过程中用硼砂清除焊层表面的氧化膜可增加黄铜溶液侵入被焊金属间隙的能力，保护焊层钎料和工件表面免受氧化。

(3) 施焊：如果座孔变形区较大，应分区施焊，每个区段的熔池力争一次填满。堆焊层要离出座孔基面 3mm 以上，留出充裕的机械加工余量。

(4) 机械加工：按规定力矩上好轴承盖，在搪瓦机上按标准加工成型。

此外，我们曾用黄铜作轩料，用火焰加热修复过挖掘机门斗油缸盖油封槽，6135 发动机缸体两缸套间的裂纹，两缸套间下陷等均取得良好效果。

8.3　设备折旧的方法与政策

8.3.1　设备折旧的意义

设备在长期的生产过程中虽然保持其原有的实物形态，但由于不断的磨损，使其价值逐渐降低，这部分以货币形式表现的设备因磨损而减少的价值称之为设备的折旧。

设备因磨损而减少的价值将转移至产品的成本中，构成产品成本的一项生产费用，这就是折旧费或折旧额。当产品销售后，折旧费转化成货币资金，作为设备磨损的补偿。从设备投入使用开始，它以实物形态存在的那部分价值不断减少，而转化为货币资金部分的价值不断增加，到设备报废后有购置新设备的资金，必须将其转化成这部分货币资金分期提存积累起来，这部分资金称之为设备的基本折旧基金。因此，就实质而言，折旧是设备在生产过程中的价值转移过程。概括地说，设备的折旧是指固定资产耗损的价值，而折旧基金则是恢复固定资产损耗的资金来源。

合理计算折旧对企业和国家都有十分重要的意义。

(1) 折旧是为了补偿固定资产的价值损耗，折旧基金为固定资产的及时更新和加速企业的技术进步提供了资金保证，正确地计提折旧有利于企业及时地更新和改造设备，提高企业的技术水平。

(2) 折旧是产品成本的组成部分，正确计提折旧才能真实地反映企业的成本和利润，有利于正确评价企业的经营效果。

(3) 折旧是社会补偿基金的组成部分，正确地计提折旧可为社会总产品中合理划分补偿基金和国民收入提供科学依据，有利于合理安排国民收入积累和消费的比例关系，搞好国民经济的综合平衡。

(4) 提取折旧基金是对企业固定资产进行考核、监督的必要手段，以充分发挥固定资产的效能。

8.3.2　设备折旧三要素

定量地研究设备的折旧问题主要抓住它的 3 个基本要素，即计划折旧回收总额、合理的折旧期、折旧计算方法。

1. 计划折旧回收总额 K_j 的确定

在设备的折旧过程中，应用折旧的手段必须和可能回收的设备价值称之为计划折旧回收总额，用 K_j 表示。这个总额由两大部分组成：一是基本折旧回收总额 K_b，二是大修理折旧回收总额 K_R，即

$$K_j = K_b + K_R \tag{8-10}$$

而

$$K_b = K_0 - (K_s - K_c) \tag{8-11}$$

式中，K_0——设备的原始价值，由设备的购置价值、运输费、安装费和有关的杂费共同组成设备的购置费；

K_s——设备的残值，是指它与原来的企业相脱离时所具有的价值量；

K_c——设备的清理费，对于废旧设备拆除清理必须支付的费用。

2. 确定设备折旧年限的一般原则

关于确定设备折旧年限的决策问题是设备管理的一项基本战略。合理地确定折旧年限不仅是正确计算成本的依据，也是促进技术进步和有利于设备现代化的重大经济决策。

(1) 正确的折旧年限应该既反映设备的有形磨损，又反映设备的无形磨损，应该与实际的损耗基本相符。

(2) 应从国家财政、经济发展水平来考虑，因为折旧费的大小影响到国家的财政收入。随着工业技术的发展，国民经济的发达，将会进一步缩短设备的折旧年限。

(3) 要考虑企业技术改造和财务承受能力的平衡。

(4) 对于设备的制造和供应部门来说，过快地折旧和更新会造成新设备制造和供应的困难；但更新速度过慢又会促使制造和供应部门的停滞不前和销售不景气现象；另外，还应考虑设备制造的能力和任务问题。

所以，合理的折旧制度，正确的折旧年限对于促进企业装备素质的提高，提高企业效益，加快国民经济发展均起着十分重要的作用。

3. 折旧方法的总结

设备的折旧方法可以总结为如图 8.2 所示。

目前在我国使用最广泛的是平均年限法，它在财务上有计算方便的优点。这种方法用来计算各种大型的、通用的、使用年限较长的设备较为适宜。它的最大弊端是未考虑资金的时值，未能确保设备投资的回收。

8.3.3　折旧方法计算

对于上面归纳的 8 种折旧方法，我们选择几种方法进行进一步介绍。

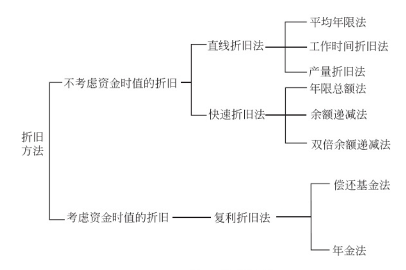


图 8.2　折旧方法归纳图

1. 平均年限法

月折旧额＝固定资产原值×月折旧率

在设备折旧期内平均地分摊设备的价值和全部的大修理费用。设设备的折旧年限为T，T年内设备的大修理费用总和为K_R，T年后的设备残值为K_s，T年后新设置同样设备的价值为K_T，清理费用为K_c，于是设备的基本折旧费r_b为

$$r_b=\frac{K_0-(K_s-K_c)}{T} \tag{8-12}$$

设备的基本折旧率α_b为

$$\alpha_b=r_b/K_T\times100\% \tag{8-13}$$

设备的大修理折旧额r_r为

$$r_r=K_R/T \tag{8-14}$$

设备的大修理折旧率α_r为

$$\alpha_r=K_R/(TK_T)\times100\% \tag{8-15}$$

一个企业中的各种设备应该有不同的最佳使用年限，因而要为各种不同的设备规定不同的使用年限。

2. 工作时间折旧法

对于价值大而又不经常使用的某些大型、精密设备，按使用年限分摊很不准确，于是采取按实际的使用时间分摊的办法。假设设备的利用率为A，设备每年的工作时数为h，其单位小时内的折旧额r_h为

$$r_h=\frac{K_0-(K_s-K_c)}{ATh} \tag{8-16}$$

若设N为本期实际工作的小时数，则本期内应计划提取的折旧额为

$$r_N=r_hN \tag{8-17}$$

3. 双倍余额递减法

月折旧额＝年初固定资产账面净值×月折旧率

在实行双倍余额递减法时，固定资产折旧年限在到期前两年，每年按届时固定资产净

值扣除预计净残值后的数额的50%计提。

4. 年度总额法

月折旧额=(固定资产原值一预计净残值)×月折旧率

将折旧回收额乘以年限递减系数，这样计算出的折旧额是先高后低的，在最佳年限中，各年的折旧额不相等。

计算方法为：求取某年 $t(t\leqslant T)$ 的折旧额 r_t

$$r_t=\frac{T-t+1}{0.5T(1+T)}(K_0-K_s+K_c) \tag{8-18}$$

【例8-1】 某设备的原价值为7400元，残值预计为200元，最佳使用期为8年，求各年的折旧额($K_c=0$)。

解：按照公式(8-15)计算得到各年度的递减系数和折旧额见表8-1。

表8-1 【例8-1】计算的各年度的递减系数和折旧额

年度	递减系数	折旧额/元
1	8/36	1600
2	7/36	1400
3	6/36	1200
4	5/36	1000
5	4/36	800
6	3/36	600
7	2/36	400
8	1/36	200
合计		7200

5. 偿还基金法

在设备的最佳年限内，按照直线折旧法计算提取每年的折旧额，同时按照一定的利率来计算利息。

假设每年提取折旧额为 r，资金利润率为 i，折旧年限为 T，则历年提取的折旧与利息之和分布如下。

第一年　　$r(1+i)^{T-1}$

第二年　　$r(1+i)^{T-2}$

第三年　　$r(1+i)^{T-3}$

第四年　　$r(1+i)^{T-4}$

…　　…

第 $T-1$ 年　　$r(1+i)^{T-(T-1)}$

第 T 年　　$r(1+i)^{T-T}=r$

如果不考虑清理费用，以上各年的折旧与利息之总和应该与设备原值 K_0 和残值 K_s 之差相等，即

$$r(1+i)^{T-1}+r(1+i)^{T-2}+\cdots+r=K_0-K_s$$

整理可得到

$$r=(K_0-K_s)\frac{i}{(1+i)^T-1} \tag{8-19}$$

【例 8－2】 某设备原值 $K_0=10000$ 元，计划折旧年限为 $T=8$ 年，资金利润率为 $i=10\%$，残值为 $K_s=500$ 元，试用偿还基金法计算每年提取的折旧额和利息。

解： 按照公式(8－19)算得每年提取的折旧额为

$$r=(10000-500)\times\frac{0.1}{(0.1+1)^8-1}\text{元}=830.78\text{ 元}$$

具体的每年的折旧基金累计数加本年利息和年末折旧基金累计见表 8－2。

表 8－2　每年的折旧基金累计数加本年利息和年末折旧基金累计

年度	上年的折旧基金累计数加本年利息/元	年末折旧基金累计金数/元
1	0	830.78
2	913.86	1744.64
3	1919.10	2749.88
4	3024.87	3855.65
5	4241.21	5071.99
6	5579.20	6409.97
7	7050.97	7881.75
8	8669.93	9500.70

固定资产折旧按月计提。月份内开始使用的固定资产当月不提，次月开始计提。月份内减少或停用的固定资产当月仍计提折旧，从次月起停止计提。提足折旧仍继续使用的固定资产不再计提折旧。提前报废的固定资产不补提折旧，其净损失计入营业外支出。

8.3.4　折旧政策和折旧基金管理

为国内企业的固定资产规定折旧方法和框定大致的折旧年限是任何国家都要发挥的一项经济管理职能。设备如何折旧回收，期限多长，折旧率多高，直接联系着产品的成本和销售利润。因此，折旧问题不但涉及企业的利益，同时它也涉及国家的利益。因为产品税和净利润所得税是国家最主要的财政收入，国家为确保有计划的财政收入就不得不干预企业的设备折旧问题。

快速折旧可以使固定资金加速周转，使设备更新较快、体现新工艺、新技术的进步，并获得税收、外贸等方面的优势。

折旧期过长，设备陈旧，影响产品的质量和数量，企业利益和国家利益也都会受到影响。

企业承包不能只看到利润指标，造成拼设备、拼家底的虚假繁荣局面。国家则通过审计、财务监督和税务手段来检查企业设备折旧政策的执行情况。设备的寿命周期全过程管理必须反映在企业承包者的任期目标责任制之中。

设备的折旧基金是组成设备更新和改造基金的基础，是具有补偿性质的基金，其主要用于设备的磨损补偿和对陈旧落后设备进行更新改造，是充分发展老企业潜力必不可少的手段。

企业财务部门应该按照国家规定的固定资产折旧办法提供设备折旧基金，并建立专门

的科目、账页，并将每年应提折旧基金数告知厂级领导和相关部门。企业规划部门应该根据销售、留利、企业发展方向等因素安排折旧基金的预算计划。

设备管理部门根据折旧基金预算计划，会同相关部门编制设备的更新改造计划，并组织实施。厂领导和审计部门应该督促设备更新改造资金专款专用，不可挪作他用。

8.4　设备的改造与更新

8.4.1　设备改造

1. 设备改造的原则

(1) 针对性原则。从实际出发，按照生产工艺要求，针对生产中的薄弱环节，采取有效的新技术，结合设备在生产过程中所处的地位及其技术状态，决定设备的技术改造。

(2) 技术先进适用性原则。由于生产工艺和生产批量不同，设备的技术状态不一样，采用的技术标准应有区别。要重视先进适用，不要盲目追求高指标，防止功能过剩。

(3) 经济性原则。在制定技改方案时，要仔细进行技术经济分析，力求以较少的投入获得较大的产出，回收期要适宜。

(4) 可能性原则。在实施技术改造时应尽量由本单位技术人员和技术工人完成；若技术难度较大本单位不能单独实施时，亦可请有关生产厂方、科研院所协助完成，但本单位技术人员应能掌握，以便以后的管理与检修。

2. 设备改造的目标

企业进行设备改造主要是为提高设备技术水平以满足生产要求，在注意经济效益的同时还必须注意社会效益。为此，企业应注重以下 4 方面的目标。

(1) 提高加工效率和产品质量。设备经过改造后，要使原设备的技术性能得到改善，提高精度和增加功能，使之完全达到或局部达到新设备的水平，满足产品生产的要求。

(2) 提高设备运行安全性。对影响人身安全的设备应进行针对性改造，防止人身伤亡事故的发生，确保安全生产。

(3) 节约能源。通过设备的技术改造提高能源的利用率，大幅度的节电、节煤、节水，在短期内收回设备改造投入的资金。

(4) 保护环境。有些设备对生产环境乃至社会环境造成较大污染，如烟尘污染、噪声污染及工业水的污染。要积极进行设备改造，消除或减少污染，改善生存环境。

此外，对进口设备的国产化改造和对闲置设备的技术改造也要有利于降低修理费用和提高资产利用率。

3. 设备技术改造的基本方向

(1) 提高机械设备的生产率。采用新的科学技术成就，使设备的机械化、自动化程度得以提高，减轻劳动强度，提高设备效率。产品品种稳定并批量较大时，可以进行设备的专业化改造，设备效率可大大地提高。

(2) 提高设备的产品质量。采用新结构、新材料提高设备的精度、性能和性能持久

性，保证产品质量的进一步提高。

(3) 扩大设备的工艺可能性。增设新部件、新装置，以适应不同工艺产品的开发生产。

(4) 改善设备操作条件和维修条件。增设安保装置使操作者的工作环境得以改善，推广诊断技术和状态监测，实现设备可诊断化，并改进设备可靠性和维修性，以改善设备维修人员的维修条件。

(5) 采用节能新技术改造老设备。我国的能源资源并不丰富，通过节能技术改造能取得可喜的经济效果和社会政治效果。

4. 设备技术改造的技术经济分析

设备更新是对设备磨损的完全性补偿，但进行更新的前提在于市场上能否及时提供所需要的更新设备，若满足这一前提，还要考虑对设备进行更新在技术上和经济上是否合理。对于设备进行技术改造就是一种既能补偿设备的有形磨损，又能对其无形磨损加以补偿的有效的技术经济方式。

所谓技术改造，就是应用现代技术和方法对现有设备的结构进行整体或者局部的改变，使其完全或局部达到新设备的技术装备水平。技术改造可以有效地消除现有设备因技术进步而导致的无形磨损，改变现有设备的落后状态，通过技术改造还可以扩大设备的生产能力，提高产品的质量。

技术改造虽然属于广义的更新范畴，但与其他形式更新的差别在于技术改造是在企业内部自主完成的，同时技术改造是一种不改变设备主体基本结构及技术性能的局部性更新。

技术改造具有针对性强、适应性广，投入少，见效快，效益明显的特点。

技术改造可以通过以下方式进行：①对现有设备零部件进行更新；②安装新的装置；③增加新的配套设施及附件。

设备在进行技术改造时必须进行一次性投资作为技术改造费用，这笔费用将作为固定资产增值包括在技术改造后的设备“原值”之中，即设备折余净值与增值之和。在重新确定设备的使用寿命之后，由各年等值提取的折旧额来回收。

设备技术改造后仍然需要支付年度维持费用，将使用年限内的各年度的维持费用折算成现值就构成了改造后的设备总维持费用的现值。

因为不同的技术改造方案生产效率不一定相同，这种差异必将影响技改方案的经济效益所以在数种技改方案中要确定设备技术改造是否能够使经济效益达到最佳，应该对各种技改方案进行经济性比较。

设备技术改造的经济性分析着重就设备技术改造与设备更新和设备大修比较其设备投资、成本和生产率的方法来进行。具体的指标参数见表 8-3。

表 8-3　设备评价的 3 种指标

指标	大修理	设备技术改造	设备更新
基本投资(费用)	K_r	K_m	K_n
设备年生产率	G_r	G_m	G_n
单位产品成本中有关设备费用部分(元件)	C_r	C_m	C_n

一般情况下，上述指标具有以下的关系式

$$\left.\begin{array}{l}K_r<K_m<K_n\\G_r<G_m<G_n\\C_r>C_m>C_n\end{array}\right\}\qquad(8-20)$$

分析上式，可能出现以下几种情况。

(1) 当 $K_r/G_r>K_m/G_m$，而 $C_r<C_m$ 时，进行设备技术改造具有较好的经济效果。

(2) 当 $K_r/G_r<K_m/G_m$，而 $C_r>C_m$ 时，可以根据投资回收期 T 的标准进行经济比较

$$T=(K_m/G_m-K_r/G_r)/(C_r-C_m)\qquad(8-21)$$

式中，T 表示追加投资回收期。T 值越小，则表示通过节约成本而实现的回收期也迅速。

(3) 当 $K_m/G_m>K_n/G_n$，而 $C_m>C_n$ 时，显然设备更新是最佳方案。

(4) 当 $K_m/G_m>K_n/G_n$，而 $C_m>C_n$ 时，同样可以按照投资回收期标准来进行判断

$$T=(K_n/G_n-K_m/G_m)/(C_m-C_n)\qquad(8-22)$$

当 T 小于或等于标准投资回收期时，设备更新的方案是合理的。如果超出了规定的回收期标准，则应该选择设备技术改造这一方案。

8.4.2 设备更新

设备更新是指用技术性能更加完善、经济效益更加显著的新型设备来替换原有技术上不能继续使用，或经济上不适宜再使用的陈旧设备。进行设备更新的目的是为了提高企业技术装备的现代化水平，以提高产品质量，提高设备的生产率，降低消耗和迅速适应现代企业生产经营目标，加强企业在国内外市场生存和竞争的能力。

1. 设备更新的原则

(1) 不考虑沉没成本。比较时，原设备应按目前实际价值计算。

(2) 从客观立场出发，考虑机会成本。不能简单地按照新旧设备的直接现金流量比较，而应站在客观立场上，从机会成本角度考虑原有设备目前的价值。

2. 设备的更新方式

(1) 原型更换。设备经过多次大修已经没有修复价值了，但尚无新型的设备可以替代，只能选用原型号新设备来更换旧的设备，这样能达到保持原有生产能力，保证设备安全正常运行。

(2) 新型更新。以结构更先进、技术更完善、性能更好、效率更高、耗能更少的新型设备来更新已陈旧的设备，这是设备更新的主要方式。

3. 设备更新的对象

(1) 役龄超期的设备。超过预定的使用年限，设备的有形磨损和和无形磨损都达到相当大的程度，难以再恢复设备预定的功能，如继续使用会大大地增加运行费用的设备。

(2) 性能差，影响产品质量的设备。由于自身存在难以消除的缺陷，设备的技术性能、可靠性、维修性、经济性都较差的设备。

(3) 经过多次大修已无法修复的设备。设备每进行一次大修理，其性能要下降一些，而设备运行费用将逐步增加，大修间隔期也会缩短，大修费用也将逐次递增。过多的大修在经济上是不合理的，而且还会阻碍设备的技术进步。

(4) 技术落后的设备。这主要是由无形磨损所引起的，设备生产效率低、劳动强度大、性能不良、环境污染严重、耗能大、不宜再继续使用的设备。

凡是上述的各类设备，应该先列入考虑进行设备更新的清单，再通过进一步的技术经济分析，最后才能做出设备的更新决策。

4. 设备更新的方向

设备更新要合理地把握设备的大修理、技术改造和更新的界限，做到三者之间的有机结合。

对于陈旧落后的设备，即耗能高、性能差、使用操作条件不好、排放污染严重的设备，应当限期淘汰，由比较先进的新设备予以取代。

设备更新重点应考虑的是经济效益，不能简单地按役龄来划线。根据我国国情和企业自身能力修复比较合理的，不急于更新，可以修中有改；改进工艺设备能满足要求的，也不要盲目更新；只需要更换个别关键零部件的，就不要更新整机；只需要增加生产线上个别设备的，就不要更新整条生产线。

5. 设备更新的经济性分析

在对于设备进行更新决策时，主要考虑以下因素的影响。

(1) 有形磨损的影响。在有形磨损作用下，设备技术状态将劣化乃至部分或者全部丧失其功能。有形磨损使设备不堪再修时，就必须选用新设备来更新旧设备。

(2) 无形磨损的影响。无形磨损是技术进步的产物，确定设备更新时必须考虑其影响，这样才能有利于技术的进步，提高产品的竞争能力和企业的经济效益。但是，这并不意味着一旦产生无形磨损就需要立即进行更新，只有当高技术设备大量出现，并在很大程度上取代了原有的设备，继续使用旧设备将导致经济性能劣化时才具备从无形磨损角度考虑对原有设备进行技术更新的条件。

(3) 现有的客观物质条件。如果不顾客观现实条件，强行将设备更新的时期提前，勉强将一些技术条件尚不成熟的工艺和设备用于更新，将在经济上产生严重的后果。此外，设备更新的时期还应该结合本地区、本行业的具体情况，切忌生搬硬套。

设备更新是一项经济性和政策性都很强的经济工作，因此确定更新方案必须要进行经济性分析，从各种方案中选择最佳方案。设备更新方案的对比不外乎是新设备与旧设备的对比或新设备与另一种新设备的对比，其共同的尺度就是“年度使用费用”。在满足工艺要求及生产效率的前提下，选择年度费用最低的方案。下面就简单介绍几种情况下的更新决策方案。

(1) 有形磨损的更新决策。设备的有形磨损如果是不可消除的，则只能进行设备更新，别无其他的途径可选；如果是可以消除的，则可通过大修来恢复其功能。此时在设备更新与修理后继续使用两种方案中就存在决策问题，这种情况下主要通过年度使用费来进行比较。

【例 8－3】 某设备需要进行大修，估计费用为 2.5 万元，大修后可以继续使用 3 年，每年的维持费用预计在 3000 元；如对原有设备进行更新，购置费用 5 万元，无需大修理可使用 8 年，每年的维持费用需 1000 元，设资金的年利率为 10%，试对两种方案进行比较。

解： 大修理方案的年度使用费用为

$$AC_1=25000\times(A/P,\ 0.1,\ 3)+3000=13052.7(\text{元})$$

更新方案的年度使用费用为

$$AC_2 = 50000 \times (A/P,\ 0.1,\ 8) + 1000 = 10372(元)$$

由于 $AC_1 > AC_2$，所以更新方案为佳。

需要指出的是，目前随着劳动力成本的上升，大修费用中人工费用占的比例很大，如果企业有大修能力而大修的费用又高于新购置费用时，应该将这一因素考虑进去。因为大修费用中包括相当比例的人工费用，不进行修理时这部分人也不能转做其他工作且要支付工资及其他费用，因而比较时应该扣除这部分固定费用，而以可变费用与购置费用比较。企业无大修能力而要进行外委大修时，如大修年度费用高于更新费用时应该选择更新方案。

（2）无形磨损的更新决策。如果从有形磨损角度来看，设备还有使用价值，而此时新型高效设备已经出现，进行更新决策时除要分析年度使用费用外，还要考虑企业的发展目标。因为新设备使用的时间一般要长于旧设备，而老产品在市场上能否延续这段时间，这些都是更新是需要加以考虑的，否则会造成资源的浪费。

对于无形磨损时的更新问题仍可以使用年度费用法进行分析比较，在此就不再加以讨论。

(3)生产能力不足时的更新决策。随着生产规模的扩大，企业往往出现设备生产能力不足的情况。此时一般有多种方案可供选择，通常可以在原有的设备基础上增加相同型号的新设备同时投入使用；也可以将原有的设备废弃，另购大型设备取代。这种方案一般也采用年度费用法来加以确定，在此就不再加以讨论。

6．设备更新方案优选

（1）假定设备产生的效益相同，只作费用比较。

（2）不同设备方案的使用寿命不同，常采用年费用进行比较。

（3）不考虑沉没成本，原设备价值按目前实际值多少钱计算，不管原值。

【例 8-4】 现拟对旧设备进行更新，更新设备有 A、B 两种，有关数据见表 8-4，折现率为 12%，试比较选优。

表 8-4　设备的有关数据

方案	初始投资	年运行成本	寿命期	残值
A	40000	9000	4 年	0
B	90000	5000	8 年	0

解： $AC_A = 40000(A/P,\ 12\%,\ 4) + 9000 = 22169.6$ 元

$AC_B = 90000(A/P,\ 12\%,\ 8) + 5000 = 23117.0$ 元

由于 $AC_A < AC_B$，故选 A 设备比选 B 设备每年可节约成本 947.4 元，故应选择设备 A。

【例 8-5】 某工厂 3 年前以 90000 元购买一台设备 A，估计还可以使用 3 年，届时残值为 0。该设备年运行成本为 16000 元，现市场上有一种功能相同的设备 B，购置费用为 96000 元，估计可使用 5 年，期末残值为 16000 元，年运行成本为 5600 元。现在有以下两个方案可以选择。

方案 1：继续使用设备 A。

方案 2：将设备 A 以 50000 元出售，同时购买设备 B。若折现率为 12%，试比较两个方案。

解：关键是将设备 A 出售时可得的 50000 元看作方案 1 的投资。

$AC_1 = 5000(A/P, 12\%, 3) + 16000 = 36817.5$ 元

$AC_2 = (96000 - 50000)(A/P, 12\%, 5) + 5600 - 16000(A/F, 12\%, 5) = 15842.3$ 元

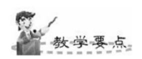
$AC_1 > AC_2$，故选择方案 2。

思　考　题

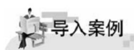
1. 叙述设备的修理层次。
2. 叙述几种广泛采用的修理新技术。
3. 叙述折旧问题的三要素。
4. 叙述确定设备折旧年限的一般原则。
5. 叙述设备技术改造的意义。
6. 设备的技术改造的基本方向是什么？
7. 设备的更新对象有哪些？



第9章
设备管理信息系统



知识要点	掌握程度	相关知识	应用方向
设备管理信息系统的简介	了解	设备管理信息系统概述，信息系统的发展，设备管理信息系统的构成	了解设备管理信息系统的概念与构成，了解信息系统的发展过程
设备管理信息系统的特征	了解	设备管理信息系统的特征，设备管理信息系统的特点	了解设备管理信息系统的特征和特点
设备管理信息系统的应用	了解	设备管理信息系统的应用方面	了解设备管理信息系统的应用，推动设备现代化进程，便于行业中信息交流，资源共享，优化管理



设备管理信息也包括对设备或备件的采购管理，要对库存量进行动态调节，在满足生产的情况下使库存资金占用最少。

例如，某公司生产甲、乙两种产品，分别用 A、B、C3 种材料。两种产品所用的各种材料、现有各种材料总数即两种产品单件的产值，见表 9-1，求在现有的库存条件下，甲、乙两种产品各应生产多少件时总产值最大。

表 9-1　两种产品单件的产值

材料品种	甲材料定额/(元/件)	乙材料定额/(元/件)	现库存材料总数
A	1	1	450
B	2	1	800
C	1	3	900
单件产值	50	40	

随着技术革命的快速发展，使工业设备迅速向高技术及信息技术方向演变，电子信息技术越来越多地成为设备制造、运行和控制的基础，并推进现代工业设备朝综合化、流程化、信息化、技术及资金密集化方向发展，构成了现代设备的鲜明特征。

所谓的设备管理信息系统(PMIS，Plant Management Information System)是为设备管理提供决策信息的系统。在企业中可以为企业管理信息系统的一个子系统。利用电子计算机快速处理数据能使企业设备管理的决策和控制及时、正确，使设备系统资源(人员、设备、物资、资金、技术方法)得到充分利用，并对牵涉面很广的设备工程的复杂任务及时做出评价，采取有效的措施来保证企业经营目标的实现。在本章将对设备管理信息系统做详细的介绍。

9.1　设备管理信息系统简介

9.1.1　设备管理信息系统概述

设备管理信息系统的叫法比较多，有“计算机设备管理”、“计算机辅助设备管理”、“计算机设备管理信息系统”、“设备管理信息系统”等。一般在北美称“设备管理信息系统”，在欧洲称“计算机辅助设备管理”，在我国两种叫法都有。

设备管理信息系统的定义：设备管理信息系统是一个由人、设备和计算机组成的系统，它全面使用现代计算机技术对设备的信息进行处理，以达到预测未来，控制企业设备管理行为，保证企业长远目标的目的。

计算机设备管理信息系统＝设备管理学＋计算机技术＋人的管理

所谓 MIS(管理信息系统，Management Information System)，是一个由人、计算机及其他外围设备等组成的能进行信息的收集、传递、存储、加工、维护和使用的系统。它是

一门新兴的科学，其主要任务是最大限度地利用现代计算机及网络通信技术加强企业的信息管理，通过对企业拥有的人力、物力、财力、设备、技术等资源的调查了解，建立正确的数据，加工处理并编制成各种信息资料及时提供给管理人员，以便进行正确的决策，不断提高企业的管理水平和经济效益。目前，企业的计算机网络已成为企业进行技术改造及提高企业管理水平的重要手段。随着我国与世界信息高速公路的接轨，企业通过计算机网络获得信息必将为企业带来巨大的经济效益和社会效益，企业的办公及管理都将朝着高效、快速、无纸化的方向发展。MIS 通常用于系统决策，例如，可以利用 MIS 找出目前迫切需要解决的问题，并将信息及时反馈给上层管理人员，使他们了解当前工作发展的进展或不足。换句话说，MIS 的最终目的是使管理人员及时了解公司现状，把握将来的发展方向。

一个完整的 MIS 应包括辅助决策系统(DSS)、工业控制系统(IPC)、办公自动化系统(OA)，以及数据库、模型库、方法库、知识库和与上级机关及外界交换信息的接口。其中，特别是办公自动化系统(OA)、与上级机关及外界交换信息等都离不开 Intranet 的应用。可以这样说，现代企业 MIS 不能没有 Intranet，但 Intranet 的建立又必须依赖于 MIS 的体系结构和软硬件环境。

传统 MIS 的核心是 CS(Client/Server，客户端/服务器)架构，而基于 Internet 的 MIS 的核心是 BS(Browser/Server，浏览器/服务器)架构。BS 架构比起 CS 架构有着很大的优越性，传统的 MIS 依赖于专门的操作环境，这意味着操作者的活动空间受到极大限制；而 BS 架构则不需要专门的操作环境，在任何地方，只要能上网，就能够操作 MIS，这其中的优劣差别是不言而喻的。

基于 Internet 上的 MIS 是对传统 MIS 概念上的扩展，它不仅可以用于高层决策，而且可以用于进行普通的商务管理。通过用户的用户名登录(或匿名登录)，以及相应的权限控制可以实现在远端对系统的浏览、查询、控制和审阅。随着 Internet 的扩展，现有的公司和学校不再局限于物理的、有形的、真实的地域，网络本身成为事实上发展的空间。基于 Internet 上的 MIS 弥补了传统 MIS 的不足，充分体现了现代网络时代的特点。随着 Internet 技术的高速发展，因特网必将成为人类新社会的技术基石。基于 Internet 的 MIS 必将成为网络时代的新一代管理信息系统，前景极为乐观。

9.1.2　设备管理信息系统的功能

1. 管理信息系统及设备管理信息系统

现代企业的特点是规模越来越大，大量采用新技术、新工艺，信息的来源分散，数量庞大。不仅来源于生产第一线，还来源于社会环境，来源于市场，来源于行政管理部门等，从而造成需要处理的信息越来越多。如果单靠人工来进行整合、处理，不仅会浪费大量的人力资源，还使信息的实效性和准确性大大降低。随着计算机技术的飞速发展，人们将越来越多的工作交给了计算机来完成。管理信息系统就是针对这种情况而进行开发研制的。

信息是经过加工的数据，信息是决策者有价值的数据。企业从信息管理的角度可以划分为物流和信息流。生产过程是一个物流的投入产出过程，且是不可逆的过程，管理过程中是信息流过程，且具有信息反馈的特征。

一般完善的管理信息系统具有以下几个标准。

(1) 确定的信息需求。

(2) 信息的可采集与可加工。

(3) 可以通过程序为管理人员提供信息。

(4) 可以对信息进行管理。

管理信息系统的特点如下。

(1) 它是一个为管理决策服务的信息系统。管理信息系统是面向管理决策的，管理信息系统是为解决某一领域的问题而存在的，是面向具体管理决策的人工系统。如进行设备管理的设备管理系统、用于无纸化网络办公的办公自动化系统、用于财务管理的财务会计系统等。

(2) 它是一个对组织乃至整个供需链进行全面管理的综合系统。管理信息系统是一个综合系统，首先，信息系统开发涉及人、财、物等多方面的资源，需要进行各个方面的协调；其次，系统开发要综合考虑各个方面的因素，如系统的应用环境、投资的大小、预期的希望值、员工的素质等；再次，信息系统的开发需要软硬件的协作以完成特定的系统功能，相互配合、相互补充；还有，信息系统是人机的系统，需要管理和技术的双重支持。

(3) 它是一个人机结合的系统。虽然信息系统在计算机发明之前已经存在，但是现在的信息系统一般指基于计算机的信息系统(CBIS)。计算机在信息系统中扮演着重要的角色，因为计算机的存储能力与运算能力是人所不能及的。但是人的因素是决定性的因素，因为系统需求的提出、系统分析、系统设计、系统实施、系统维护和评价、系统的使用均是由人进行的，因此系统应用成功与否主要取决于人。

(4) 它是一个需要与先进的管理方法和手段相结合的信息系统。对信息系统不同的人有不同的视角，有的从技术视角，有的从管理视角，有的从应用视角等。但是现在普遍地认识是信息系统有助于提高管理水平。结合信息系统的开发应该从管理角度进行分析，引进先进的管理思想，改造传统的不合理的业务流程，如引进敏捷制造、客户关系管理等现代管理理论和方法的敏捷信息系统和客户管理系统等。因此现代信息系统是与现代管理方法与手段结合的系统。

设备管理信息系统是根据规模化、集团化发展中的大中物业管理企业“分散经营、集中管理”的需求特点，通过先进的网络信息技术建立企业与宽带社区住户互动管理的新模式，让集团公司下属职能部门、分公司及各地管理处实现资源共享、协同工作，使物业管理的服务品质通过信息化建设提升到全新的高度，加强公司总部对管理处的监控，使企业各项业务工作规整、优化，为企业的经营管理和决策者提供集中式的信息管理，支持企业的可持续发展。

具有统一规划的数据库是设备管理信息系统成熟的重要标志，它象征着 MIS 是软件工程的产物。通过 MIS 可以实现信息的增值，用数学模型进行统计分析数据，实现辅助决策。众所周知，设备是企业生产的载体，是企业发展的物质基础。可以说，一个企业的设备管理水平直接代表了该企业的整体管理水平，同时，设备管理水平的高低也决定了企业未来的发展。设备管理信息系统以设备管理为对象，对设备从投产到退役或者报废的全生命周期进行全覆盖管理，包括缺陷、检修、修试周期、运行抄录、测试记录，以及设备的备品备件的库存管理等，并能对设备的可靠性进行分析比较。设备管理信息

系统较工业企业其他应用软件系统管理对象涉及面广、管理事务繁杂、数据类型多、保障性质强。从计算机的信息观点来看，设备管理信息系统的数据信息可以从4个角度来进行分类。

(1) 管理层分类：可分为管理与控制级、执行与调度级、作业与事务处理级3个层级。

(2) 设备管理的信息分类：按工作对象可以分为投资规划信息(对应于前期管理)、设备资产与变动信息(对应于资产台账及档案管理)、技术状态信息、维修及其费用信息、备件信息、润滑信息和人员管理信息；按照信息的性质分为计划信息、作业实施信息和统计信息等；按照资金运用又可以分为资金计划信息、作业费用信息和效益评价信息等。

(3) 设备管理的内容分类：包括部门设置、设备分类、主次设备、用途分类、变动形式、管理类型等。

(4) 设备管理的作业分类：按照设备管理的作业类型进行划分，包括设备购置计划、变动记录、运行记录、完好检查记录、事故故障记录、点检作业记录、保养作业记录、维修作业记录和润滑作业记录等。

设备管理信息系统应该同时具备如下特征。

(1) 管理模式符合企业的实际工作模式，为企业提供一个规范化的计算机管理体系。

(2) 按设备管理的工作模式而不是计算机的功能模式进行结构设计，具有开放的体系结构，以满足企业工作变动与制度改革的需要。

(3) 突出设备管理的主题内容，切实解决设备管理工作中重要的、烦琐的事务处理工作，保证各种纳入管理的作业记录的完整性与准确性。

(4) 建立基于分类标准的综合技术标准体系，有利于形成规范、标准的设备管理机制。

(5) 一个完善的设备管理信息系统还必须做到设备的物质形态管理与价值形态管理相统一。

(6) 先进技术与简易操作的结合永远是应用软件实用性的评价标准之一。

2. 设备管理信息系统的功能

(1) 对设备/备件的采购管理，根据库存状况及维修数据实现采购计划，采购合同、网上招投标及货物验收等设备/备件前期购置工作的全程管理。

(2) 对设备/备件的入库、出库、日常库存管理等全程跟踪记录，并根据辅助决策支持系统，对库存量进行动态调节，在满足生产的情况下使库存资金占用最少。

(3) 翔实记录设备的基础数据，对设备的出厂信息、安装使用信息、维修信息等集成管理形成设备台账。

(4) 实行对设备运行的参数记录和状态实时监控，为生产系统提供设备生产能力信息，由辅助决策系统对设备进行状态评估、趋势分析和故障诊断。

(5) 系统可以部分自动生成检修计划，并自动形成维修工单发送至检修部门，并可由辅助决策系统对维修方案的费用、工时进行优化，并合理地分配利用检修资源。

(6) 系统全面参与设备的日常维护，自动提示到期需要润滑和清洁保养的设备，并对

全程进行跟踪记录。

（7）系统外挂辅助决策系统支持系统软件包，对设备更新或改造、设备运行状态及趋势分析、设备故障诊断、维修方案的设计及优化具有辅助决策功能。

（8）设立知识共享管理模块，为企业内部、企业之间、备件供应商、客户等提供一个信息交流平台，通过信息整合分类，达到经验、技术信息的共享。

（9）方便的信息查询功能，只要经过授权，管理人员可以跨越时空界限，随时上网查询信息。

3. 设备管理信息系统工作流程

企业计划采购或自制各种设备时，先由有关部门提出设备采购或自制计划，由设备管理部门及企业有关部门共同进行设备选型及采购(或自制)工作。设备到货后，由有关部门及设备管理部门的人员共同验收。验收合格后出具设备验收合格单报财务及设备管理部门备案。然后根据财务部门出具的财务记账单据和设备验收合格单，由记账员负责建立设备卡片、设立设备台账，并根据财务部门出具的数据设置设备的折旧、大修基金的比例。同时根据设备管理的有关规定确定设备的保养及维修计划。

设备正常使用过程中，设备维修小组根据设备保养及维修计划的安排定时对指定设备进行正常保养和维修。维修小组负责根据设备保养维修计划向备品备件仓库提出备品备件使用计划。备品备件仓库根据备品备件使用计划及库存物料的实际情况，按月向设备科科长及物料采购部门报送备品备件采购计划。有关部门批准后由物料采购部门负责采购，到货后由备品备件仓库管理员负责验收入库。设备维修小组根据使用计划从备品备件仓库领取有关物料。

如果设备出现故障，由设备使用部门通知设备管理部门进行现场抢修。此时维修小组可以根据抢修的需要不受使用计划的限制，直接从备品备件仓库中领取物料，待抢修结束后统一办理备品备件领用手续。此时领用单上需要维修小组、设备科长及设备使用部门负责人三方签字。

设备科记账员负责将设备的每一次保养和维修(包括抢修)的情况记录在设备卡片和设备台账上，并负责按月根据设备折旧和修理基金比例计算设备折旧费和修理基金提取费用，用报表的方式报财务部门。设备记账员还负责按照设备归属、使用情况记录设备的调入、调出及报废等情况。

业务流程分析：设备管理部门要求能够利用计算机系统随时掌握设备的采购、正常维修、抢修等情况，能够利用计算机填写设备卡片、设备台账及计算固定资产折旧及提取修理基金等工作，能够根据要求打印有关设备卡片、账目及原始单据。希望能够通过设备管理系统的使用明显提高设备管理工作的工作效率和工作质量。备品备件仓库希望能够利用设备保养及维修计划有目的地组织备品备件的采购计划，能够科学地组织备品备件的仓储和使用，在不影响设备正常保养和维护的前提下尽量减少库存备品备件所占用的流动资金。设备维修小组希望能够利用计算机系统对设备维修和保养情况进行综合分析，能够预测设备运行过程中可能出现的问题，及时调整设备保养和维修计划和人力，及时准备相应的备品备件，减少因设备抢修或保养修理时间延误给生产造成的损失。

设备管理信息系统第一层工作数据流程和设备管理信息系统第二层工作数据流程如图 9.1和图 9.2 所示。

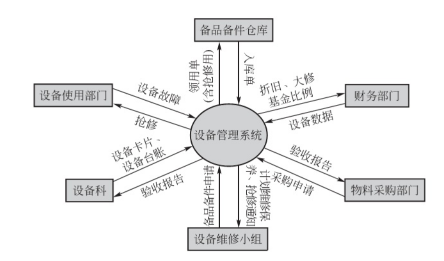


图 9.1　设备管理信息系统第一层工作数据流程

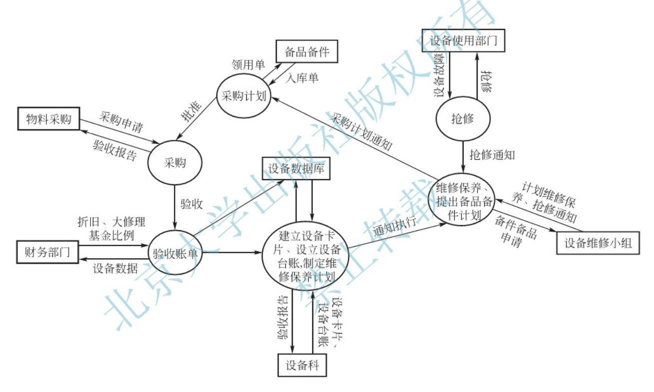


图 9.2　设备管理信息系统第二层工作数据流程

9.1.3　信息系统的发展

1. 信息系统的发展过程

信息系统的发展过程大致可以分为 4 个阶段。

(1) 电子数据处理系统(EDPS)阶段。这一阶段计算机在管理中的应用主要在于日常业务与事务的处理、定期提供系统的业务信息。EDPS 的主要目标是提高管理人员处理日常业务的工作效率，减轻工作负担，节省人力和降低工作费用。这一阶段还可以再分为两个子阶段：单项数据处理和综合数据处理。

(2) 管理信息系统(MIS)阶段。该阶段 MIS 有以下特点：在企业管理中全面使用计算

机；应用数据库技术和计算机网络；采用决策模型解决结构化的决策问题。

这种决策主要面向企业中、低层管理人员。即利用一定的规则和公式来解决例行的和反复进行的、有章可循的、可以“委托”给计算机处理的问题，如用线性规则求解生产资源最优配置的问题。

(3) 决策支持系统(DSS)阶段。20 世纪 70 年代，决策支持系统(Decision Support System，DSS)概念开始出现了，之所以出现了决策信息系统的概念，是因为企业中的决策者已经不满足使用计算机技术处理那些常规的操作，而是希望自己也参与到计算机系统中，并且可以根据需要随时调度模型的参数，以便分析和比较复杂的决策问题。

(4) 进入 20 世纪 90 年代以来，随着计算机技术的高速发展和 Internet 的出现，信息系统发展的重要趋势是网络化。随之出现了企业资源计划(ERP)、供应链管理(SCM)、客户关系管理(CRM)、产品数据管理(PDM)、企业间信息系统(IOIS)、电子商务(EC)、战略信息系统(SIS)等概念。

2. 计算机设备管理信息系统发展现状及水平

设备管理的内容非常繁杂，维修工作中需要的信息既可能是横向的，也可能是纵向的，还可能是综合的，这些信息要求急，占有量大，传统的人工管理办法难以满足现代设备管理要求，往往丢失了许多有用的信息，因此，目前国内外普遍重视将计算机引入设备管理管理中。

1) 国内外 CAMM 系统应用现状及效益

从 20 世纪 70 年代未起，CAMM 已普遍在国外开发使用起来，并取得了显著的经济效益，资料介绍显示：①日本新日铁八幡制作所一次投资 6.7 亿日元，系统运行后减少人员 107 人，年节约维修费用 500 万美元，10 个月收回投资；②日本住友鹿岛制铁所投入 CAMM 系统后，年节约维修费 3 亿日元，减少人员 23 人，16 个月收回投资；③美钢联使维修费用下降 30%；④德国蒂森钢厂使故障停机率下降 10%；⑤克斯洛钢厂投入产出比达 1∶7。

CAMM 已成为设备现代化的一项重要标志，评价设备管理优秀单位都将此项作为必备条件。

近 20 年来，我国的设备管理信息系统发展也较迅速，现在，固定资产管理、备品备件管理、故障与事故管理、图纸资料管理系统相继在我国各个行业建立起来。但是，这些系统仅限于数据的统计、分析、报表，没有预测功能，其特点是：计算机没有参与设备管理的动态过程，有关设备的数据相对是静态的，这是一种静态管理信息系统。因而不能适时地反映生产设备运转情况，不能提供设备预防维修的科学决策依据，无法帮助决策，也无法帮助达到设备维修的目标，经济效益较低。可喜的是，国内开始注意了这个问题，开发并引进了少量的 CAMM 系统，CAMM 系统是一种动态管理信息系统，它将设备维修必定涉及的几大系统有机结合形成整体，全面指导企业的设备维修工作，而且经济效益明显，但理论水平与实际效果同国外相比还存在较大差距。

2) 国内外 CAMM 系统实例

(1) 英国钢铁公司的 CAMM 系统：该公司共有 7600 台设备，约合 6 亿英镑，维修人员 600 人，每周完成 600 项独立的维修作业。工厂在设计时就考虑采用 CAMM 系统。该系统的硬件为分布式处理系统，在以大型机为后盾的基础上配置一台该系统专用的小型

机，现都以微机网络系统取代。该系统应用软件由维修计划编制和维修控制、备件管理、设备台账及技术资料管理3个子系统组成。

(2) CAPE－SH－1设备管理与维修信息系统：1987年在国家经委领导下，由西北工业大学开发的一套设备管理软件，功能全又细，卖得很便宜，800元一套。但有一个特点：不完善，需要作二次开发且属静态系统，维护队伍跟不上。

(3) 武钢和安钢的设备管理信息系统：为了援助我国开发大型计算机系统，联合国计划开发署投资开发钢铁企业CAMM系统，1990年论证，1992年完成投产。该系统功能较全，凡设备管理的业务它都有。

(4) 中南工大开发的设备管理动态信息系统：1990年开发冶炼厂的CAMM。1993年开发大型矿山。开发的主要思路：将设备维修所要涉及的维修计划，设备状态，维修费用，备件管理用设备综合工程学理论联系起来，原始数据由人机收集或采集，由计算机通过一些理论模型辅助人们决策，帮助人们达到设备维修的目标。

该系统的目标：加速和完善设备管理信息的流通，处理和综合利用。帮助有关人员掌握主要设备的技术状态，提高设备工作计划性，降低设备突发故障率，减少备件库存，最终达到降低成本，提高经济效益、设备管理水平的目的。

效果：直接的突发故障降低5%，备件库存下降8%，1990年是单机版，1993年是网络版。计算机网络与单机相比，具有较大优势：可实现信息共享，无纸办公。

国外软件在电力等系统推广应用较多，虽设计思想先进，但是出于与我国的国情有差异，软件通用性较差，应用的效果较差。上述系统中除少数软件完全按CIMS系统要求设计，并通过了国家CIMS专家正式验收了的实时处理系统外，大部分为批处理系统，数据可靠性较差，系统覆盖面较少，辅助决策能力较差。

3) 国内外CAMM系统的对照分析

国外、国内的CAMM系统的应用与开发有以下差异。

(1) 从研究时间来看，国外在20世纪60年代中期就开始出现CAMM系统，而我国开始开发研制是在20世纪80年代，这说明与国外相比，国内至少有20多年的差距，国外CAMM开发与应用的经验和教训值得借鉴。

(2) 从系统的功能、涉及面来看，国外一般少而精，多包括维修计划、仓库及备件控制，费用控制等功能，很少涉及设备的前期管理，国内CAMM系统多数涉及面很宽，大而全，从设备前期管理一直到后期管理，虽使用系统功能齐全，但不能突出维修系统的特点，使系统头绪太多，往往不适应维修部门的具体要求。

(3) 从维修技术来看，国外由于企业采用了设备状态与诊断技术，CAMM系统往往与设备诊断系统集成为一体，维修体制则由预防维修转化成了按状态维修，国内系统多属于计划预修制。

(4) 从研制思想、方法来看，国外系统已具备较完善的维修思想，已成为维修科学的一个独立分支，具有其确定的范围、思想方法，国内一般将CAMM系统等同于企业的MIS，只注重将手工劳动计算机化，多数是静态的。

(5) 从系统实施看，国内许多企业存在只看重硬件的先进性而忽视软件的适用性，结果造成许多浪费。

4) 国内外CAMM系统的研究现状及水平

国外研究现状：①设备状态监测、诊断系统与CMM系统的集成，维修模式按时间维

修和按状态维修；②人工智能的应用；③管理、生产、维修的集成，包含维修的合成。该系统有四大好处：①提供了一种控制生产和维修系统的方法；②改善了企业部门之间的关系；③意识到维修是企业的一项重要活动而不是辅助活动；④维修将更好地与生产部门相协调，以此降低停机时间。

国内研究现状：从静态系统逐步过渡到动态系统，不过在建设开发过程中应注意以下几点。

(1) 充分利用现代化科学技术成就对设备进行监测，以图实时地反映设备的运转，为设备的维修提供科学的决策。

(2) 加强对设备动态信息的收集和处理工作，研究设备的运行规律，分析研究设备的一生。

(3) 动态地对管理部门、生产部门、备件供应部门和财务部门等进行综合协调管理，以图实现设备的寿命周期费用最为经济的效果。

(4) 能够及时地收集设备管理的反馈信息并作实时处理。

9.2　设备管理信息系统的特征

根据我国企业的设备管理的工作情况，在 ERP 供应链思想指导下，突出设备管理以信息流、技术流为中心的特点，所以设备管理信息系统主要由以下 10 个模块构成，如图 9.3 所示，并且每个模块又包含若干个功能子模块。

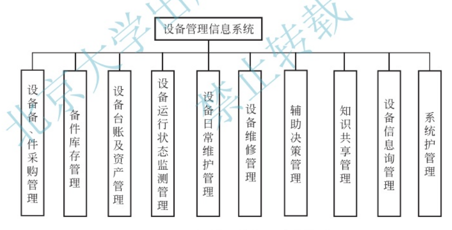


图 9.3　设备管理信息系统的构成

1. 设备、备件采购管理模块

1) 流程分析

采购流程一般为各计划管理部门编制初步的备件计划，经库房认可(是否低于规定库存)，再经财务确认(成本、资金是否允许)，形成备件采购计划，由采购部门签订采购合同，到货后验收入库，合同、入库单、发票三单核对无误后，由财务部门付款。

2) 功能设计及分析说明

系统可以自动生成部分备件采购计划，系统自动生成的备件采购计划有两个来源：①来源于库存管理模块提供的确保安全库存的采购信息；②来源于维修功能模块提供的紧

急采购信息。

系统自动生成的部分备件采购计划，再由人工进行删添、确认，形式初步采购计划，初步采购计划反馈至财务管理系统得到成本、资金的确认后，形成最终的采购计划。

采购部门调用知识共享管理模块，确认是否有技术含量更高的新产品或性能价格比较好的替代品。同时，调用供应商信息管理模块，进行供应厂商的选取。

备选供应商确定后，招、投管理模块可以自动生成招标书，并对招、投标进行全程管理。投标结束经确认后，系统生成采购合同。

采购合同经双方认可后，系统自动将合同反馈给财务和库房管理部门。供应商供货时，库房管理部门核对验收无误后，对采购合同进行到货确认。同样，系统也会自动将此信息反馈至采购和财务部门。供应厂商只要开具发票，财务部门即可按时付款。

3）设备、备件采购管理模块的系统构成(图 9.4)

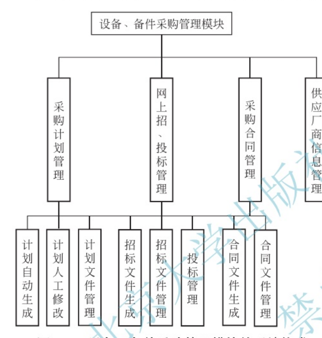


图 9.4 设备、备件采购管理模块的系统构成

2. 备件库存管理模块

1）流程分析

备件库存管理的流程一般为供货商将备件送至库房，库房管理人员负责与采购合同核对，并将备件进行质量检测，合格后办理入库手续，并根据备件的分类进行仓库号、货位号分配。同时，将信息反馈给财务部门和采购部门。当车间领取备件时，车间提出申请，经财务部门成本确认，库房管理人员办理出库手续，并将信息反馈给财务部门。库存管理除了要对备件的来源、去向管理明晰外，最重要的是要确定合理的库存量，在保证生产的前提下确保库存占用资金最少，并能提供迅速、准确的库存信息。

2）备件库存管理模块的功能设计和分析说明

备件入库：备件到达仓库时，库房人员核对、验收后对采购合同进行确认，系统自动生成入库单，其中包含有名称、类别、金额、入库时间、备件来源等信息，库房人员只需要对其分配仓库号、货位号，入库手续即可完成。同时，系统自动将该信息反馈给财务部门和计划/采购部门。

备件出库：各车间通过库存信息查询模块找到需要的备件，在系统上填写领料单，财务经成本确认后，系统将领料单发送至库房，库房确认，发料系统自动生成出库单，包括名称、类别、金额、出库时间、领出单位等信息，同时，系统将此信息反馈给财务部门。

日常库存管理：系统定期对库存备件进行扫描判定，当发现某类备件低于库存量时，将此信息反馈到采购模块，自动生成订货信息，其数量为规定库存量与安全库存量之差。当每种库存备件盘点周期确定后，系统可以自动输出到期应该盘点的备件。

3）备件库存管理模块的系统构成

备件库存管理模块的系统构成如图 9.5 所示。

3. 设备台账及资产管理模块

1）设备台账及资产管理模块的功能设计及分析说明

设备台账及资产管理模块的主要功能：对设备的基础数据进行集成管理，包括设备的编号、名称、规格、生产日期、生产厂家、原值、安装单位、使用单位等原始信息；对设备图纸资料的管理包括设备零件图、设备装配图、设备安装图、设计变更等；设备的升级改造信息管理包括历次备件更换记录、设备局部技术改造记录、升级换代信息和改造验收记录等；对特种设备(如锅炉、压力容器等)及仪表的检测、鉴定记录的管理。

2）设备台账及资产管理模块的系统构成

设备台账及固定资产管理模块的系统构成如图 9.6 所示。

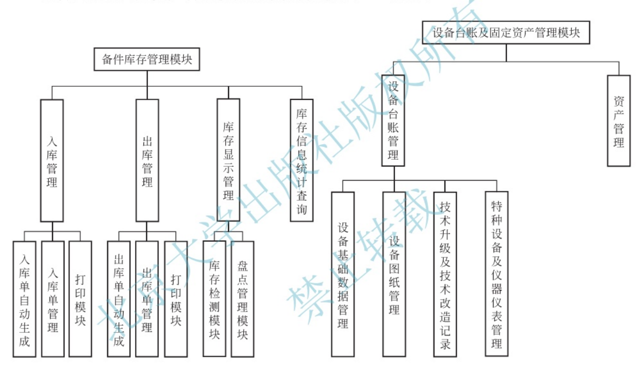


图 9.5　备件库存管理模块的系统构成　　图 9.6　设备台账及资产管理模块的系统构成

4. 设备运行状态监测管理模块

1）设备运行状态模块的功能设计及分析说明

设备运行状态模块的主要功能如下。

（1）对设备的日常运行参数进行实时的记录、监测，将设备的生产能力数据提供给生产系统。

（2）对设备的运行状态参数(如监测点的温度、位移、振动情况等)进行实时监测，超过设定的极限将自动报警，并将数据传输给状态评估模块，对设备运行状态进行综合性评估，有异常时，故障诊断模块可以进行初步的故障诊断。

（3）对设备的能耗、环保监测数据的记录、分析及评估。

（4）设备综合效率指标的统计计算，如有效作业率、故障停机率等。

(5) 综合评估模块调用辅助决策系统对设备的整体性能，包括生产能力是否达标(如功率、承载等)、设备的运行状态以及设备的节能、环保等，进行综合评估，并形成趋势分析报告。

2) 设备运行状态监测管理模块的系统构成

设备运行状态监测管理模块的系统构成如图 9.7 所示。

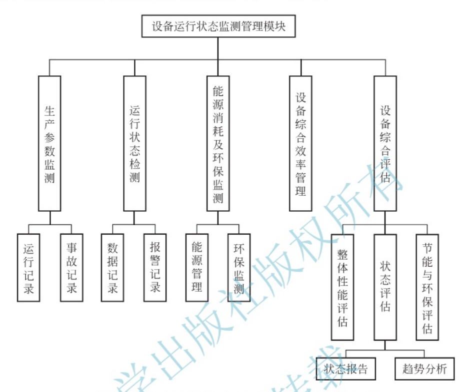


图 9.7　设备运行状态监测管理模块的系统构成

5. 设备日常维护管理模块

1) 设备日常维护管理模块的功能设计及分析说明

设备日常维护管理模块主要包括设备的点检管理和设备的润滑及保养管理。

点检管理：系统根据设备的点检周期、自动提示需要点检的设备。点检数据采用便携式设备输入或手工录入方式，录入完毕一经确认，系统将自动生成点检报告，确保点检数据的时效性和准确性。调用辅助决策系统可以对设备进行整体性能的评估和趋势分析。对于纳入状态维修管理的设备，可由辅助决策系统进行是否需要状态修正及状态修理的级别进行判定。

设备的润滑及保养管理：系统根据润滑周期自动提示需要润滑的设备，以及需要添加油品的类别、名称、标号、注油点的位置及注油数量等，并对设备的润滑档案进行管理。设备管理人员可以根据设备的运行状态或趋势对设备润滑周期及注油种类进行动态调整。同样，系统也可以自动提示需要清洁保养的设备，并对全程进行跟踪记录。

2) 设备日常维护管理模块的系统构成

设备日常维护管理模块的系统构成如图 9.8 所示。

6. 设备维修管理模块

1) 设备维修管理模块的功能设计及分析说明

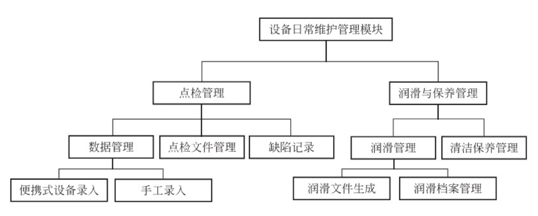


图 9.8　设备日常维护管理模块的系统构成

我国企业的维修管理已从事后维修向以点检定修制为核心的预防维修发展，其目的是为了使生产得以合理安排，并避免和减少设备故障停机，有效提高设备的管理水平。但是在预防维修方式下，设备状态的要素提取不全面，过多强调设备的周期检修，容易造成过度维修，造成维修资金和生产的浪费。如果将以时间为基准的预防维修性改为以状态为基准的响应性维修，就会延长检修间隔，避免过度维修。然而，状态维修是建立在准确的状态诊断的基础上的，尤其是实时在线监测。这样就需要企业初期有大量投入，而企业往往无力承担。针对这一情况，提出优化检修的概念，即状态检修、计划检修和故障检修相结合的检修方法。企业可以根据自身的情况，结合政府规定行业标准，以及制造厂建议等不同设备进行不同的检修方式。一般来说，限制重要生产线产量的关键设备及投资大、易出问题的大型设备应该采用状态检修模式。

2）设备维修管理模块的系统构成

设备维修管理模块的系统构成如图 9.9 所示。

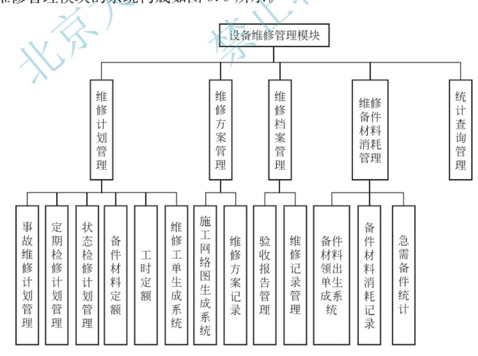


图 9.9　设备维修管理模块的系统构成

7. 辅助决策管理模块

1）辅助决策管理模块的功能设计及分析说明

辅助决策管理又称之为决策支持系统(DSS，Decision Support Systems)，它主要由数据库、模型库和人机交互界面3大部分构成，主要解决半结构化和非结构化问题。人工智能和专家系统AI/ES(Artificial Intelligence and Expert System)与DSS结合后成为智能决策支持系统IDSS。IDSS与DSS的主要区别在于它包含一个知识库，从而能像专家一样从模型库中选择合适的模型。

辅助决策管理模块的设计主要考虑应用已有的一些决策系统作为设备管理信息的子系统，从PMIS中获取数据进行分析决策。

辅助决策管理模块主要由3大部分构成。

(1) 状态评估及故障诊断系统：用于对设备专题的监测评估及故障诊断，对设备的总体性能进行综合性评估，对设备的运行状态进行趋势分析。

(2) 设备更新决策和最佳库存系统：用于对设备更新或改造的判定，以及对不同备件的合理库存进行动态调整。

(3) 维修管理支持系统：在对维修计划、方案的制订中，对维修的工时、费用、资源、调配等进行优化处理，找出利润最佳工期计划方案。

2）辅助决策管理模块的系统构成

辅助决策管理模块的系统构成如图9.10所示。

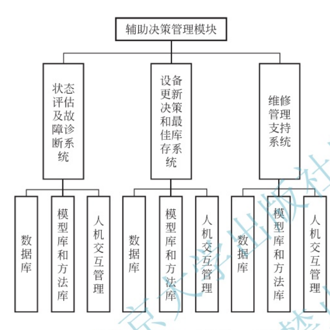


图9.10　辅助决策管理模块的系统构成

8. 知识共享管理模块

1）知识共享管理模块的功能设计及分析说明

ERP的另一个突出特点是知识共享，由于系统本身的开放性特点可以获得来源于本企业、同行业之外的其他企业、制造厂商等的经验技术，充分利用这些经验技术及先进的管理思想对提高企业的设备管理水平大有好处。

知识共享管理模块主要由3大部分构成。

(1) 设备及零部件信息：主要包括设备及备件的升级、替代信息；设备及备件的改进经验，对不同制造厂的设备及备件评价等为设备、备件的采购提供参考。

(2) 维修技巧与经验：包括维修方案中的好经验、好方法、设备维修管理的注意事项及制造厂的维修建议等。

(3) 设备管理信息：包括在设备管理中遇到的问题及解决办法，维修管理与生产管理的协调方案，设备管理的新方式等。

知识共享管理模块的功能主要是提供一个经验交流平台，使设备管理人员可以充分地

分享已有的成熟经验、技巧，少走弯路，提高设备管理水平。

2）知识共享管理模块的系统构成

知识共享管理模块的系统构成如图 9.11 所示。

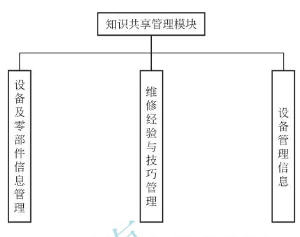


图 9.11　知识共享管理模块的系统构成

9. 设备信息查询管理模块

设备信息查询管理模块的功能设计及分析说明如下。

设备管理工作中会产生大量的信息，对于设备管理人员来说需要获得及时、准确、完整的所用信息。同时，设备管理工作还需要大量的数据报表，这都需要利用设备信息查询管理模块来实现数据的统计汇总，并且打印输出所需要的数据报表

10. 系统维护管理模块

系统维护管理模块的功能设计及分析说明如下。

整个设备管理工作所涉及的数据量十分巨大，准确、及时的数据管理是系统运行的关键。同时，由于本系统是一个开放的系统，系统的安全机制就显得十分重要。

系统维护管理模块的主要功能是及时对数据进行备份、删改和清空等维护工作。同时，可采用严格的授权机制和防火墙技术，确保系统的数据安全。

9.3　设备管理信息系统的应用及案例

9.3.1　设备管理信息系统的应用

近年来，我国在计算机辅助设备管理方面取得了较大的进展和成效，应用面涉及设备全过程管理的各个领域，有力地推动了设备现代化的进程。

通常，企业的设备管理信息系统的应用主要有以下几个方面的内容。

(1) 设备前期规划管理。企业设备投资和技术改造规划；投资技术经济分析；设备订购计划；合同管理；自制设备及技术改造项目管理；更新改造计划等。

(2) 设备资产管理。设备台账处理；设备役龄；设备固定资产和折旧处理；设备报废等。

(3) 设备管理。在设备管理系统中，备件管理是一项很重要的工作，其管理的目标是：既要保证适应日常生产和设备系统动态维修的需要，又要尽量节约库存投资费用。根据设备日常维修记录制订出各种设备的合理库存量，一旦库存量达到临界状态以下，计算机能及时报警，提醒备件采购人员及时补充，实现备件管理的计划性、合理性，提高备件管理水平。

备件管理包括：库存控制；分类显示；查询、统计和打印库存情况；备件资金占有指标；备件临界报警等。

（4）修理和维修管理。与设备维修活动有关的数据和信息的收集是维修管理的一项基本工作。对收集到的数据和信息进行必要的处理和加工，产生新的信息，以此作为制订设备维修计划的决策依据。通过计算机对设备维修记录进行统计分析能发现设备的运行规律，可以合理地制定检修周期，防止维修不足和避免过分维修，减少对正常生产秩序的冲击。

这里涉及各类修理计划编制；修理计划执行及完成情况；平均修理时间、停机时间、设备有效利用率的统计；修理工时定额管理；修理费用管理等。

（5）状态管理。设备运行状态的监测管理是状态管理的重要内容。这涉及设备状态监测数据管理；运行状态监测报警；润滑管理；设备完好率管理；设备利用率管理；设备故障管理；设备事故处理等。

（6）人员组织管理。设备操作人员、设备维修人员、设备管理技术人员的合理配备，岗位技术培训，以及技术人员素质状况的动态管理是人员组织管理子系统的重要内容。

（7）信息处理。对来自于行业内外的设备管理信息进行处理；对于企业的设备信息数据要定期更新。

（8）综合分析。设备管理人员和企业设备主管人员应用设备管理信息系统对企业设备管理状况可随时作出评价，或者改进管理。企业设备的新投资规划，或者企业设备的更新改造大规模项目也可用综合分析子系统中有关数据作为决策的依据。

综合分析是提高企业设备管理水平的必要手段，从而促使企业设备管理向现代化、科学化方向迈进。

大型企业由于设备较多，可通过传输线路将许多台中心计算机联成网络，各基层设备单位使用一台中心计算机，通过自身的终端设备共用网络内的数据库，相互通信，共享资源。由于电子计算机的广泛应用使现代设备管理的水平得到进一步提高，并使现代设备资源的开发利用达到理想的最佳状态。

由于通信技术的发展使行业性设备管理的水平又上了一个台阶。一个单位的设备管理信息可通过同步卫星，随时随地发送到行业中任何一个单位信息接收系统，便于行业中信息交流，资源共享，优化管理。我国的石油化工行业在这个领域已先走了一步，并取得了可喜的成果。

9.3.2　设备管理信息系统的应用案例

下面是设备管理信息系统的四个应用案例。



【设备管理信息系统的应用案例1】

上海造币有限公司2006年底引进企业设备资产信息管理系统对公司设备资产进行管理。目前系统已投入使用，运行良好。

企业设备资产信息管理系统是一个着眼于帮助企业管理好有形资产，使之物尽其用，使企业资产的投资回报最大化的系统。构建适合上市公司实际情况的设备管理系统，从真正意义上提升设备管理水平，是公司贯穿整个设备管理系统建设重点关注的焦点。在具体系统建设、运用过程中，公司始终秉持“以设备管理信息化为切入点，以企业实际工作为出发点，建立一个职责明晰、功能完善、基于设备生命周期管理的信息化平台”的理念，对软件进行二次开发与再设计，使其成为一个高效的设备管理信息工具。

实施内容如下。

(1) 设备管理信息化建设理念先行。信息化系统的有效运行离不开员工的有效参与。在新系统运行初期，部分员工可能会产生不适应或者拒绝、排斥。为此，从新系统需求分析阶段开始就要不断地加以引导、说服，使其明白新系统的应用最终会对其工作带来便利，对管理带来高效。同时系统的实施是无法改变的事实，必须适应、掌握它。

(2) 设备管理信息化建设以本公司实际为出发点。软件系统是供应商提供的通用性产品，而信息系统的成功应用至关重要的一点是产品的“本土化”，即实际应用环境下的适应性改造。为此，公司不是简单地购买一套系统，满足于系统本身所能提供的功能。而是结合公司目前的管理现状、组织结构、人员配备等因素，尤其是能源管理和设备运行管理方面，在大量调研分析的基础上提出需求与设想，要求系统供应商对原有的标准化系统功能进行二次开发，从而使其符合公司的实际需求。

(3) 设备管理信息化建设重在整合。企业设备资产管理信息系统的整合包括横向整合和纵向整合两个层次。横向整合即将原来分散于各岗位的备件、工具量具、固定资产、能源抄表等各软件统一纳入企业设备资产管理系统这个大平台之中，避免了原来分散、各自为政的散乱局面。纵向整合即建立起以过程为中心，跨部门、相关岗位人员全部参与的管理流程。不仅覆盖了设备保障部的相关人员，还包括了各部门的设备员、能源管理员等，相关操作全部纳入企业设备资产管理系统平台上操作，建立起了一套行之有效的主管部门、使用部门联动机制。以备品备件为例，通过系统侦测备品备件的领用情况，通过分析后确定合理的备件库存量、加速流转等一系列措施，年节支金额估计可达上百万。通过两个整合建立的是一个统一、高效的设备管理平台。

(4) 基于设备生命周期管理的设备信息化管理系统。从最早的事后维修到后来的预防性维修，设备维修的思想也是一个不断演进的过程。在建立起一套预防性维修体系后，结合当前设备管理的发展趋势，我们正在探索一条基于设备生命周期管理的系统。目前应用的设备管理系统覆盖了从设备的购入、运行、维修、保养、处置的全过程，详细的设备数据归集为平时管理，为日后设备的更新决策提供了有力的支撑。根据现有设备的运行状态和设备运行分析指标，可方便地及时发现问题，及时调整维修保养计划，提高了响应速度。此外，根据设备故障曲线能做到合理地安排设备定期保养计划，而不是简单地制定相同的年度保养频率。

实施效果：切实符合公司实际需求，且为员工所广泛接受的设备管理系统为公司提供了一个统一、高效的设备管理平台。同时，企业设备资产管理系统实现了物资管理的信息化，达到了优化业务流程，提高工作效率，加强信息沟通等目标。



【设备管理信息系统的应用案例 2】

某企业是中国烟草行业的 36 家重点企业之一，产品在华南地区拥有非常高的市场占有率，年产量达数十万大箱，利税近百亿元。该企业是典型的资产密集型生产企业，拥有非常先进的膨胀烟丝机、制丝生产线、卷接包生产线，单台卷接机每分钟卷烟产量最高可达到 13000 支。由于生产设备非常先进，复杂度和自动化程度非常高，一旦产生设备故障后所造成的损失将会是数十万甚至上百万，而设备维护工作的技术难度大、档案资料要求全、计划性要求强。长期以来，公司一直在摸索适合自身需求的一套维护管理的策略，并一直期望能找到一套系统来进行设备的维护辅助管理。

多年以前，公司第一次接触到了企业设备资产信息管理系统思想，随后便开始了项目的选型，经过对国内外多个软件的考察，最主要是以设备科结合信息中心共同对各种系统方案进行了详细的分析比较，最终选择了某一种企业设备资产信息管理系统。该系统界面简单，但功能强大、应用设置灵活、对于烟草行业的一些特殊需求也都能够提供直接的解决方法，尤其是可以自行定义不同用户的操作界面和按照用户的需要来扩展界面上的输入字段等是企业非常看重的。当然实施顾问对企业情况的了解、对烟草行业的熟悉也是该公司选择该系统的关键因素。

根据企业的实施目标和要求，企业设备资产信息管理系统为该企业设计了“二阶段实施、一快一慢实施”的总体策略。二阶段实施是指先上静态的部分，主要包括：设备和备件台账、工厂位置定义、仓库和库位定义、设备和位置的关系定义、备件的收发存账务处理。该阶段是属于“快上”的阶段，通过3个月的快速实施，完成了该阶段，将设备科的大部分静态资料用系统来进行管理。由于企业这方面数据的基础相对比较好，因此实施过程中没有太多的难度，所以能很快上线应用。第二阶段是：设计工单计划产生、批准下达、执行反馈的流程和单据，设计备件动态库存量跟踪和自动产生采购需求的策略，设计故障跟踪和反馈的规则，这是属于“慢上”的阶段，因为企业在这些方面原来的基础相对较弱，有些操作规范性不强，有些操作甚至无章可循，也有些操作人为因素多、弹性大的现实习惯存在，一下子难以全部改变，因此既不能不上，但也不能快上，所以采用“慢上”的策略。第二阶段几乎花费了近1年的时间，在此过程中也开发了大的控制单据和报表，通过逐步的培训、讨论、流程改善，慢慢地形成了一套比较规范的业务作业流程，在实际操作中可控性得到了加强。由于单据和报表比较符合企业各级管理人员的要求和习惯，这对于系统的坚持应用和数据的逐步积累是有直接帮助的。现在系统已经正常运行了好几年，可以这样说，设备科的各个业务人员和有关领导已经不能离开企业设备资产信息管理系统了。工作指令的下达、设备台账的清查、库存备件的跟踪、资产和财务的核对等工作均要依赖企业设备资产信息管理系统才能实现。



【设备管理信息系统的应用案例3】

中国北车股份有限公司是经国务院同意，国务院国资委批准，由中国北方机车车辆工业集团公司联合大同前进投资有限责任公司、中国诚通控股集团有限责任公司和中国华融资产管理公司，于2008年共同发起设立的股份有限公司。经营范围：铁路机车车辆(含动车组)、城市轨道车辆、工程机械、机电设备、电子设备及相关部件等产品的研发、设计、制造、修理、服务业务；产品销售、技术服务及设备租赁业务；进出口业务，与以上业务相关的实业投资；资产管理；信息咨询业务。目前，拥有年新造电力机车370台、内燃机车460台、铁路客车和动车组2300辆、城市轨道车辆1100辆、各型货车26000辆，年修理电力机车260台、内燃机车600台、客车2500辆、各型货车32000辆的能力，同时具有较强的配件配套生产能力。

在该项目中，提供设备管理信息系统的公司在充分利用原有信息和资源的基础上，以实现中国北车股份有限公司设备资产投资回报最大化为最终目标，通过建立数字化工作平台，在信息技术的支持下优化资产管理、运行管理、维修管理和备件管理的工作流程。全面实现对设备资产的数据记录及处理、运行维护维修、自动生成报表等现代化管理，并自动归档；同时以工作履历的方式实现对设备的全寿命周期管理的相关信息进行记录与实时更新，为生产和各项工作提供数据支持，帮助中国北车股份有限公司实现计算机化的全生命周期的设备管理。



【设备管理信息系统的应用案例4】

北京首都国际机场股份有限公司是大型中外合资的交通服务性企业，是我国运输生产最繁忙的大型国际航空港。北京首都国际机场居于重要的地理位置，不仅是首都的空中门户和对外交往的窗口，而且是中国民用航空网络的辐射中心。北京首都国际机场凭借优越的地理位置，齐全优质的服务设施，吸引了62家国内外航空公司，国内通航城市137个，国际通航城市95个，每周有7000多个定期航班从这里飞往祖国和世界各地。公司注册资本38.5亿元人民币，资产超过100亿，现有9个职能部门，9个业务部门，3个控股合资公司，员工超过8000人。

提升对机场设备资产的信息化管理水平，保障设备的安全通畅运行对于其业务的正常开展和盈利等至关重要。为提高对机场设备的信息化管理水平，结合北京首都国际机场的实际需求，建立了全寿命周

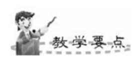
期的设备资产管理数字化工作平台，对设备资产的运行、检查、维修等各项工作进行信息化管理，优化资源配置。通过信息化平台有效提高了设备资产的管理水平，增强了机场设备资产对机场运营的保障能力。

思　考　题

1. 叙述设备管理信息系统的构成。
2. 简述完善信息系统的几个标准。
3. 企业的设备管理信息系统的应用主要有哪几个方面的内容?



第 10 章 特种设备管理



知识要点	掌握程度	相关知识	应用方向
特种设备管理的概念	了解	特种设备管理的概念及范围	了解特种设备的范围及概念
特种设备管理的规定	了解	特种设备生产管理和应用管理的规定	了解国家对特种设备管理的相关规定
特种设备管理的使用安全管理	了解	特种设备管理的使用安全管理注意事项	特种设备管理的使用安全管理内容

导入案例

特种设备是由国家认定的，是因设备本身和外在因素影响容易发生事故，并且一旦发生事故会危及人的生命安全，造成人身伤亡及重大经济损失的危险性较大的设备，如图 10.1 所示。特种设备应严格按照国家的相关规定购买、管理和使用，并接受有关部门的监察和检测，有效地控制特种设备事故的发生。



图 10.1　特种设备事故现场

有关特种设备的事故基本都发生在使用过程中，因此，使用过程的安全管理是特种设备的管理重点。本章中所指的特种设备的安全管理就是指使用过程的安全管理。

特种设备使用单位必须对特种设备使用和运营的安全负责，按照相关要求做好使用过程的管理工作。

10.1　特种设备的范围及管理规定

根据国务院《特种设备安全监察条例》，特种设备是指涉及生命安全、危险性较大的锅炉、压力容器(含气瓶，下同)、压力管道、电梯、起重机械、客运索道、大型游乐设施。各相关企业也对设备安全管理非常重视(图 10.2)。



图 10.2　企业对生产安全的重视

1. 特种设备生产的主要管理规定

(1) 特种设备生产单位应按照《特种设备安全监察条例》，以及国家质量技术监督局制定并公布的安全技术规范的要求进行生产活动。

(2) 特种设备的设计单位经省一级质量技术监督局的许可方可从事设计活动。

(3) 锅炉、压力容器中的气瓶、氧舱和客运索道、大型游乐设施的设计文件经省一级(含副省级)质量技术监督管理部门核准的检验检测机构鉴定后方可用于制造。

(4) 特种设备出厂时应附有安全技术规范要求的设计文件、产品质量合格证明、安装及使用维修说明、监督检验证明等文件。

(5) 从事特种设备的安装、改造、维修等活动的单位需取得质量技术监督管理部门的

许可资格，方可从事相应的活动。跨省从事特种设备的设计、制造、安装、改造、维修活动还需凭已取得的许可资格到该地质量技术监督部门办理备案手续。

(6) 特种设备安装、改造、维修的施工单位应当在施工前到质量技术监督部门办理报装手续，报装批复后方可施工。

(7) 特种设备的安装、改造、维修竣工后 30 日内，施工单位将有关技术资料移交使用单位。使用单位应当将其存入该特种设备的安全技术档案。

(8) 特种设备需经由国务院特种设备安全监督管理部门核准的检验检测机构监督检验合格后交付使用。

2. 特种设备使用的主要规定

(1) 特种设备投入使用前或者使用后 30 日内，特种设备使用单位应当向直辖市或者设区的市的特种设备安全监督管理部门登记。登记标志应当置于或者附着于该特种设备的显著位置。

(2) 特种设备使用单位应当建立特种设备安全技术档案。安全技术档案内容如下。

① 特种设备的设计文件、制造单位、产品质量合格证明、使用维护说明等文件，以及安装技术文件和资料。

② 特种设备的定期检验和定期自行检查的记录。

③ 特种设备的日常使用状况记录。

④ 特种设备及其安全附件、安全保护装置、测量调控装置及有关附属仪器仪表的日常维护保养记录。

⑤ 特种设备运行故障和事故记录。

(3) 特种设备使用单位应当对在用特种设备进行经常性日常维护保养，并定期自行检查，每月至少进行一次，并作出记录。在用特种设备进行自行检查和日常维护保养时，如发现异常情况，应当及时处理。

(4) 特种设备使用单位应当按照安全技术规范的定期检验要求，在安全检验合格有效期届满前 15 日向特种设备检验检测机构提出定期检验要求。未经定期检验或者检验不合格的特种设备不得继续使用。

(5) 特种设备出现故障或者发生异常情况，使用单位应对其进行全面检查，消除事故隐患后方可重新投入使用。特种设备使用单位应当制定特种设备的事故应急措施和救援预案。

(6) 特种设备存在严重事故隐患，无改造、维修价值，或者超过安全技术规范规定使用年限，特种设备使用单位应当及时予以报废，并应当向原登记的特种设备安全监督管理部门办理注销。

(7) 特种设备的作业人员应当按照国家有关规定，经特种设备安全监督管理部门考核合格，取得国家统一格式的特种作业人员证书后再从事相应的作业或者管理工作。

10.2 对特种设备使用单位的安全管理要求

(1) 应当建立、健全特种设备安全管理制度和岗位安全责任制度。

(2) 人员培训。应当对特种设备作业人员进行特种设备安全教育和培训。保证特种设备作业人员具备必要的特种设备安全作业知识。

（3）特种设备使用单位应当建立安全技术档案，安全技术档案应当包括以下内容：

① 特种设备的设计文件、制造单位、产品质量合格证明、使用维护说明等文件，以及安装技术文件和资料。

② 特种设备的定期检验和定期自行检查的记录。

③ 特种设备的日常使用状况记录。

④ 特种设备及其安全附件、安全保护装置、测量调控装置及有关附属仪器仪表的日常维护保养记录。

⑤ 特种设备运行故障和事故记录。

（4）特种设备使用单位应当对在用特种设备进行经常性日常维护保养，并定期自行检查。

（5）特种设备使用单位对在用特种设备应当至少每月进行一次自行检查，并作出记录。

特种设备使用单位在对在用特种设备进行自行检查和日常维护保养时发现异常情况的，应当及时处理。

（6）特种设备使用单位应当对在用特种设备进行如下项目的检查，并进行定期校验、检修，并作出记录。

① 安全附件。

② 安全保护装置。

③ 测量调控装置及有关附属仪器仪表。

（7）特种设备使用单位应当按照安全技术规范的定期检验要求，在安全检验合格有效期届满前一个月向特种设备检验检测机构提出定期检验要求。未经定期检验或者检验不合格的特种设备不得继续使用。

（8）特种设备出现故障或者发生异常情况，使用单位应当对其进行全面检查，消除事故隐患后方可重新投入使用。

（9）特种设备存在严重事故隐患，无改造、维修价值，或者超过安全技术规范规定使用年限，特种设备使用单位应当及时予以报废，并应当向原登记的特种设备安全监督管理部门办理注销手续。

（10）特种设备使用单位应当制定特种设备的事故应急措施和救援预案。

（11）特种设备使用单位应当对特种设备作业人员进行特种设备安全教育和培训，保证特种设备作业人员具备必要的特种设备安全作业知识。特种设备作业人员在作业中应当严格执行特种设备的操作规程和有关的安全规章制度。

（12）特种设备作业人员在作业过程中发现事故隐患或者其他不安全因素，应当立即向现场安全管理人员和单位有关负责人报告。

10.3　特种设备的使用

1. 特种设备的购置

要保证特种设备的安全使用，首先必须把好特种设备的准入关，特种设备在选购时，除满足生产要求外，根据规定必须保证安全要求，选购必须进行严格审查，保证产品质量

符合国家规定的出厂标准，同时达到使用和安全要求。特种设备使用单位应当使用符合安全技术规范要求的特种设备，特种设备投入使用前，使用单位应当对购置的特种设备是否符合以下相关文件进行判断。

(1) 安全技术规范要求的设计文件。

(2) 产品质量合格证明。

(3) 安装及使用维修说明。

(4) 监督检验证明等文件。

2. 特种设备的注册登记

新增特种设备在投入使用前或者投入使用后30日内，使用单位必须持监督检验机构出具的验收检验报告和安全检验合格标志，到所在的地、市级以上特种设备安全监察机构注册登记，如图10.3所示。将安全检查合格标志固定在特种设备显著位置上后，方可投入正式使用。

图 10.3　特种设备使用注册登记表

3. 特种设备作业人员的管理

特种设备使用单位应当及时对特种设备作业人员进行特种设备安全教育和培训，保证特种设备作业人员具备必要的特种设备安全作业知识。在作业中严格执行特种设备的操作规程和有关的安全规章制度，特种设备作业人员必须经过专业培训和考核，取得国家统一的特种设备作业人员资格证书后方可从事相应的作业或者管理工作。特种设备作业人员在作业过程中发现事故隐患或者其他不安全因素，应当立即向现场管理人员和单位有关负责人报告。

4. 建立特种设备安全技术档案

特种设备使用单位应建立特种设备安全技术档案，并保证特种设备技术档案的完

整、准确。图 10.4 所示的是对特种设备之——压力容器基本特征的记录表。特种设备档案必须是从特种设备的设计、制造、使用、检修全过程的文字记载，它向人们提供特种设备各个过程的具体情况，有利于掌握和分析特种设备的性能和使用情况，具体包括以下内容。



图 10.4　压力容器基本特征的记录表

(1) 特种设备的设计文件、制造单位、产品质量合格证明、使用维护说明等文件，以及安装技术文件和资料。

(2) 特种设备的定期检查和定期自行检查记录。

(3) 特种设备的日常使用状况记录。

(4) 特种设备及其安全附件、安全保护装置、测量调控装置及有关附属仪器仪表的日常维护保养记录。

(5) 特种设备运行故障和事故记录。

5. 特种设备的安装、维修保养与改造

特种设备使用单位对特种设备进行安装、维修保养和改造时必须请有相应资质证书的单位来完成。竣工后，安装、维修保养、改造的施工单位应当在验收后 30 日内将有关技术资料移交使用单位。使用单位应当将其存入该特种设备的安全技术档案。特种设备的安装、改造、重大维修过程必须经过国务院特种设备安全监督管理部门核准的检验检测机构按照安全技术规范的要求进行检验，未经监督检验或检验不合格的不得出厂或者交付使用。

6. 特种设备安全技术性能的定期检验

在用特种设备实行安全技术性能定期检验制度。使用单位必须按期向所在地的监督检验机构申请定期检验，及时更换安全检验合格标志中的有关内容。安全检验合格标志超过有效期的特种设备不得使用。特种设备使用单位对在用特种设备应当至少每月进行一次自行检查，并作出记录。当检查日常维护保养时发现异常情况的，应当及时处理。同时在用特种设备的安全附件、安全保护装置、测量调控装置及有关附属仪器仪表进行定期校验、

检修(图 10.5)，并作出记录。特种设备使用单位应当按照安全技术规范的定期检验要求，在安全检验合格有效期届满前 1 个月向特种设备检验检测机构提出定期检验要求；未经定期检验或者检验不合格的特种设备不得继续使用。特种设备出现故障或发生异常情况，使用单位应当对其进行全面检查，消除事故隐患后方可重新投入使用。




图 10.5　特种设备的现场检测

7. 特种设备的报废

标准或技术规程中有寿命要求的特种设备或零件应当按照相应的要求予以报废处理，特种设备进行报废处理后，使用单位应向负责该特种设备注册登记的特种设备安全监察机构报告。特种设备存在严重事故隐患，无改造、维修价值，或者超过安全技术规范规定使用年限的，特种设备使用单位应及时予以报废，并应当向原登记的特种设备安全监督部门办理注销。

8. 建立特种设备应急救援预案

特种设备的使用单位应根据特种设备的不同特性建立相适应的事故应急措施和救援预案。事故应急救援预案应定期演练，对其可行性、符合性和有效性进行检验，确保当事故发生时事故应急救援预案能真正起作用，防止灾害扩大，将事故造成的损失降到最低限度。一旦事故发生必须按照有关规定及时向当地特种设备安全监察机构及有关部门报告，在爆炸危险场所使用的特种设备还必须符合防爆安全技术条件。

总之，特种设备使用单位应当接受特种设备安全监督管理部门依法进行的特种设备安全监察；特种设备单位的主要负责人应对本单位特种设备的安全全面负责，同时还应当建立健全特种设备安全管理制度和岗位安全责任制度，包括技术档案管理、安全操作、常规检查、维修保养、定期报检和应急措施在内的特种设备安全使用和运营的管理制度，使特种设备的管理部门和操作人员全面掌握其安全性能和技术状况，了解和掌握运行规律，防止盲目使用特种设备，从而全面有效地控制特种设备事故的发生。

9. 特种设备行政许可及定期检验

1）特种设备行政许可

(1) 特种设备行政许可规定。特种设备使用单位应当在特种设备投入使用前或者投入使用后 30 日内办理特种设备使用登记。

(2) 特种设备行政许可变更。特种设备停用、注销、过户、迁移、重新启用应到质监

部门办理相关手续。

(3) 作业人员持证上岗。特种设备作业人员必须经质监部门考核合格，取得国家统一格式的证书方可上岗操作。作业人员必须与企业办理聘任手续并到质监部门备案。

2) 特种设备定期检验

(1) 特种设备报检。特种设备使用单位应在特种设备检验合格有效期届满前 1 个月向特种设备检验检测机构提出定期检验要求(各特种设备的检验日期可从检验报告、合格标志查看)。

(2) 特种设备报检要求。起重机械报检时必须提供保养合同、有效的作业人员证件。

(3) 特种设备换证。特种设备检验合格后，携带使用证、检验合格标志、检验报告、保养合同、保养单位的保养资质到质监部门办理年审换证手续。

特种设备安全培训：特种设备使用单位在落实特种设备作业人员(包括管理人员)持证上岗的基础上，必须在本单位内对特种设备作业进行业务培训和安全、节能教育。做到有安全培训计划，有培训记录，有培训考核。

10.4　特种设备档案管理

1. 特种设备档案记录

(1) 特种设备日常使用状态记录(特种设备运行记录)。根据特种设备的类别分别印制特种设备日常使用状态记录，将设备的使用状态记录在案。

(2) 特种设备维护保养记录(包括安全附件、安全保护装置、测量调控装置及有关附属仪器仪表保养记录)。根据特种设备类别分别印制特种设备维修保养记录，每次对设备维护保养做好记录。电梯的日常维护保养必须由有资质的单位负责，维护保养后，维护保养人员和用户应在保养单上签名，保养单至少一式二份，用户和维护保养单位各留一份存档，并且至少 15 日对电梯进行一次清洁、润滑、调整和检查。

(3) 特种设备检查记录。根据特种设备类别分别印制特种设备定期自行检查记录(包括日检、月检、年检记录)，每月至少进行一次自行检查，并记录在案。

(4) 特种设备运行故障和事故记录。印制特种设备运行故障和事故记录，当特种设备出现运行故障和事故时，详细记录故障或事故出现的原因、解决方法等。

(5) 定期检验整改记录。将每次定期检验主要存在问题及落实整改情况记录在案。

(6) 锅炉房记录。锅炉房要设立 6 种记录：锅炉及附属设备的运行记录；交接班记录；水处理设备运行及水质化验记录；设备检修保养记录；单位主管领导和锅炉房管理人员检查记录；事故记录。

2. 档案分类管理

(1) 文件法规类。将特种设备的法律法规、文件统一存放。

(2) 综合管理类。将特种设备安全责任制、管理制度、操作规程、特种设备安全管理机构、管理结构图、专职兼职安全管理员任命书、特种设备使用管理安全责任承诺书等统一存放。

(3) 特种设备总台账类。使用账本或信息化管理系统对特种设备台账进行管理，账物

相符，能方便索引到相应的档案信息。至少包括如下内容：设备分布情况，最好有本单位的特种设备分布图，特种设备台账，将本单位特种设备分类登记在册，包括：注册号、使用登记证号、电梯年审情况、定期检验情况等；安全附件管理台账，将本单位特种设备安全附件分类登记在册，并标明安全附件安装所在的设备；特种设备作业人员管理台账，将特种设备作业人员及相关的管理人员的基本情况登记在册，并注明作业人员所操作的特种设备；特种设备作业人员类，将每年的培训计划、培训情况、考核情况作业人员证或复印件等资料统一存放，特种设备作业人员证件应有使用单位的聘用记录并到质监局备案，证件在有效期内；应急救援类，将特种设备重大事故应急救援预案、演练计划、演练情况资料统一归档；技术档案类，以一台设备一个技术档案为原则(可用多个档案盒存放)，将特种设备的设计文件、制造单位、产品质量合格证明、使用维护说明等文件，以及安装技术文件和资料、特种设备使用证、特种设备使用登记表、定期检验报告、安全附件校验报告统一存放；特种设备相关记录类，特种设备记录每月归档整理一次，将设备日常使用状态记录、特种设备维护保养记录、特种设备检查记录、特种设备交接班记录、特种设备运行故障和事故记录统一存放。

10.5　特种设备现场管理

(1) 现场设备与台账相符。现场设备与设备台账，以及设备布置图相一致。

(2) 悬挂使用登记证。特种设备使用登记证(可使用复印件)应置于特种设备旁边。

(3) 安全标志、标识的张贴。

① 机电类合格标志。电梯、大型游乐设施等特种设备的检验合格标志应置于易于乘客注意的显著位置；起重机检验合格标志应张贴在该设备的电源控制箱的空白处；叉车的检验合格标志应张贴在叉车的显眼位置。

② 警示标志、安全注意事项。电梯、大型游乐设施等特种设备的警示标志、安全注意事项应置于为乘客注意的显著位置。

③ 禁用标志。特种设备停用后，应将设备的电源断开，在设备显眼的地方张贴“禁止使用”的标志。

④ 压力管道标志。在压力管道显眼地方应标明管道的介质名称及介质流向。

⑤ 重点监控特种设备标志。纳入天津市质量技术监督局《关于开展对特种设备实施重点监控工作的意见》范围管理的重点监控特种设备应在设备明显位置标注“重点监控特种设备”。

(4) 特种设备管理制度、责任制、操作规程的张贴。将特种设备管理制度、责任制、操作规程张贴到相应的部门、工作岗位、特种设备使用场所。

(5) 设备安全运行情况。

① 特种设备的安全附件在校验有效期内，并灵敏可靠；特种设备在许可条件下使用，无异常情况出现。

② 特种设备作业人员持有效证件上岗(随身携带副证以备检查)，对设备运行情况及时进行记录(查验设备运行记录)，无违章作业现象。

(6) 设备环境情况。设备环境整洁通畅，符合设备的使用要求。

思　考　题

1. 叙述特种设备管理的意义。
2. 特种设备管理的具体内容是什么?
3. 特种设备管理的具体步骤和做法是什么?



参 考 文 献

[1] 沈永刚. 现代设备管理 [M]. 北京：机械工业出版社，2003.

[2] 王如杰. 现代设备管理 [M]. 北京：冶金工业出版社，2004.

[3] 李堡文. 简明现代设备管理手册 [M]. 北京：机械工业出版社，2004.

[4] 梁工谦. 现代企业中维修理论和观念的变革 [J]. 西北工业大学学报，1999.

[5] 日本设备工程师协会设备诊断技术委员会. 设备诊断技术 [M]. 刘若南，译. 北京市机械工业局技术开发研究所，1983.

